



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**VYUŽITÍ TRIBODIAGNOSTIKY V PREDIKTIVNÍ ÚDRŽBĚ  
VE FIREMNÍ PRAXI**

USING TRIBODIAGNOSTICS IN PREDICTIVE MAINTENANCE IN COMPANY PRACTICE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Daniel Trost**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.**

**BRNO 2019**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Daniel Trost**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Využití tribodiagnostiky v prediktivní údržbě ve firemní praxi

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Škoda Auto, a.s. je významný výrobce osobních automobilů. Sídlo společnosti je v Mladé Boleslavi, kde je i největší výrobní závod. Firma se vyznačuje používáním nejmodernějších technologií. Značný důraz je ve firmě kladen na zajištění kvality výroby, a to ve všech směrech. Součástí uvedeného je i řešení otázek údržby výrobních zařízení. Zadání diplomové práce se týká prediktivní údržby se zaměřením na tribodiagnostiku.

### Cíle diplomové práce:

Popište současný stav údržby ve firmě Škoda Auto, a.s. s důrazem na tribodiagnostiku a off-line a on-line diagnostické prostředky.

Proveďte systémový rozbor problematiky.

Naplánujte postup řešení diplomové práce s ohledem na výše uvedené body.

Rozeberte výsledky řešení diplomové práce.

Formulujte doporučení v rámci řešené problematiky pro firmu Škoda Auto, a.s. Mladá Boleslav.

### Seznam doporučené literatury:

GRENČÍK, Juraj a kol. Manažerstvo údržby- Synergia a teorie a praxe. 1. vyd. Košice: Slovenská spoločnosť údržby vo vydavateľstve: BEKI design, s.r.o Košice, 2013. 630 s. ISBN 978-80-89522-03-3.

LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 2. doplněné vyd. Příbram: Kamil Mařík PBtisk, 2016. 622 s. ISBN 978-80-7431-163 -2.

SEJKOROVÁ, Marie. Metody tribotechnické diagnostiky. 1. vyd. Ostrava, Pardubice: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. 111 s. ISBN: 978-80-248-3280-7.

HELEBRANT, František. Technická diagnostika a spolehlivost I. Tribodiagnostika I. 1.vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 8070788836.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

V diplomové práci je řešena problematika využití tribodiagnostiky v prediktivní údržbě ve firemní praxi. Je obecně pojednáno o údržbě, následně o tribodiagnostice ve firmě Škoda Auto a.s. Jsou popsány používané off-line a on-line diagnostické prostředky. Důraz je kladen na ověření funkce nově zakoupené on-line filtrační jednotky. Experimentální část je zaměřena na podrobný rozbor výše uvedeného včetně porovnání výsledků měření off-line a on-line diagnostiky. V práci je také provedeno ekonomické vyhodnocení úspor získaných provozem on-line filtrační jednotky. Na závěr jsou v rámci tribodiagnostiky zmíněna doporučení pro společnost Škoda Auto a.s.

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the use of tribodiagnostics in predictive maintenance in corporate practice. It is generally dealt with maintenance, then tribodiagnostics in the company Škoda Auto a.s. Used offline and online diagnostic tools are described. Emphasis is placed on verifying the functionality of the newly purchased online filter unit. The experimental part is focused on detailed analysis of the above, including comparison of measurement results offline and online diagnostics. There is also an economic evaluation of savings obtained by operation the online filter unit. In conclusion, the tribodiagnostics recommendations are given for Škoda Auto a.s.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tribodiagnostika, prediktivní údržba, firma Škoda Auto a.s., off-line a on-line diagnostické prostředky, systémový rozbor, maziva, hydraulický olej, hydraulický lis, obráběcí centrum.

## **KEYWORDS**

Tribodiagnostics, predictive maintenance, Škoda Auto a.s. company, off-line and on-line diagnostics tools, system analysis, lubricants, hydraulic oil, hydraulic press, machining center.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TROST, Daniel. Využití tribodiagnostiky v prediktivní údržbě ve firemní praxi. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117018>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Miloš Hammer.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za vstřícný přístup při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Šotkovi, Bc. Pavlu Pantlíkovi a Milanu Melicharovi, zaměstnancům Škoda Auto a.s. za jejich pomoc při experimentální části práce. Veliké poděkování, patří také mé rodině za podporu během celé doby studia.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Hammera, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.5.2019

.....

Bc. Daniel Trost

# OBSAH

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBECNÉ POJEDNÁNÍ O ÚDRŽBĚ VE FIREMNÍ PRAXI .....</b>	<b>10</b>
2.1 Úvod do údržby .....	10
2.2 Tribologie .....	12
2.3 Tribotechnická diagnostika .....	13
2.4 Mechanizmy a druhy opotřebení .....	14
2.5 Maziva .....	16
2.6 Diagnostické prostředky .....	19
<b>3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR.....</b>	<b>21</b>
<b>4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU ÚDRŽBY VE FIRMĚ ŠKODA AUTO A.S. ....</b>	<b>24</b>
4.1 Popis společnosti Škoda Auto a.s. ....	24
4.2 Stávající stav údržby ve firmě Škoda Auto a.s. ....	24
4.3 Metody tribodiagnostiky ve Škoda Auto a.s. ....	25
4.3.1 Off-line tribodiagnostika .....	25
4.3.2 On-line tribodiagnostika .....	37
<b>5 PLÁN ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>39</b>
5.1 Plán .....	39
5.2 Experimentální část práce.....	39
5.2.1 Off-line tribodiagnostika .....	41
5.2.2 On-line tribodiagnostika .....	57
<b>6 ROZBOR VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>63</b>
<b>7 FORMULACE DOPORUČENÍ V RÁMCI ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY     PRO FIRMU ŠKODA AUTO, A.S. MLADÁ BOLESLAV.....</b>	<b>72</b>
<b>8 ZÁVĚR.....</b>	<b>73</b>
<b>9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>74</b>
<b>10 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH .....</b>	<b>76</b>
10.1 Seznam obrázků.....	76
10.2 Seznam tabulek.....	78
10.3 Seznam příloh.....	78



# 1 ÚVOD

V průmyslové praxi existují klíčová výrobní zařízení, u kterých je potřeba zajistit vysokou spolehlivost. Součástí spolehlivosti je diagnostikovatelnost, technická diagnostika a údržba. V rámci technické diagnostiky existuje celá řada diagnostických metod, kde jednou z často používaných je tribodiagnostika. Samotná tribodiagnostika je řešena různými způsoby. Menší společnosti si objednávají potřebné úkony u odborných tribodiagnostických společností. Větší společnosti řeší otázku olejového hospodářství i diagnostiky v rámci firmy, tak tomu je i u společnosti Škoda Auto a.s. Ta v rámci údržby provozuje oddělení, které se právě tribodiagnostikou zabývá tzv. Centrální technický servis. Centrální technický servis v případě požadavku jednotlivých výrobních úseků zajišťuje analýzu a filtraci oleje. Toto oddělení doposud řešilo tribodiagnostiku pouze off-line způsobem. Avšak z důvodu požadavků a vytíženosti přistoupilo ve smyslu iniciativy Průmysl 4.0 k vývoji a implementaci on-line filtrační jednotky, která je schopna diagnostikovat parametry důležité pro kvalitu oleje během procesu filtrace.

Hlavním cílem předkládané diplomové práce je obecně pojednat o údržbě firemní praxi, popsat současný stav údržby ve firmě Škoda Auto a.s. s důrazem na tribodiagnostiku a off-line a on-line diagnostické prostředky. Dále provést systémový rozbor problematiky, naplánovat postup řešení diplomové práce, provést experimentální část, tedy ověřit funkčnost, kvalitu a rychlost filtrace nově pořízené on-line filtrační jednotky. Dále rozebrat výsledky diplomové práce a formulovat doporučení v rámci řešené problematiky pro firmu Škoda Auto a.s.

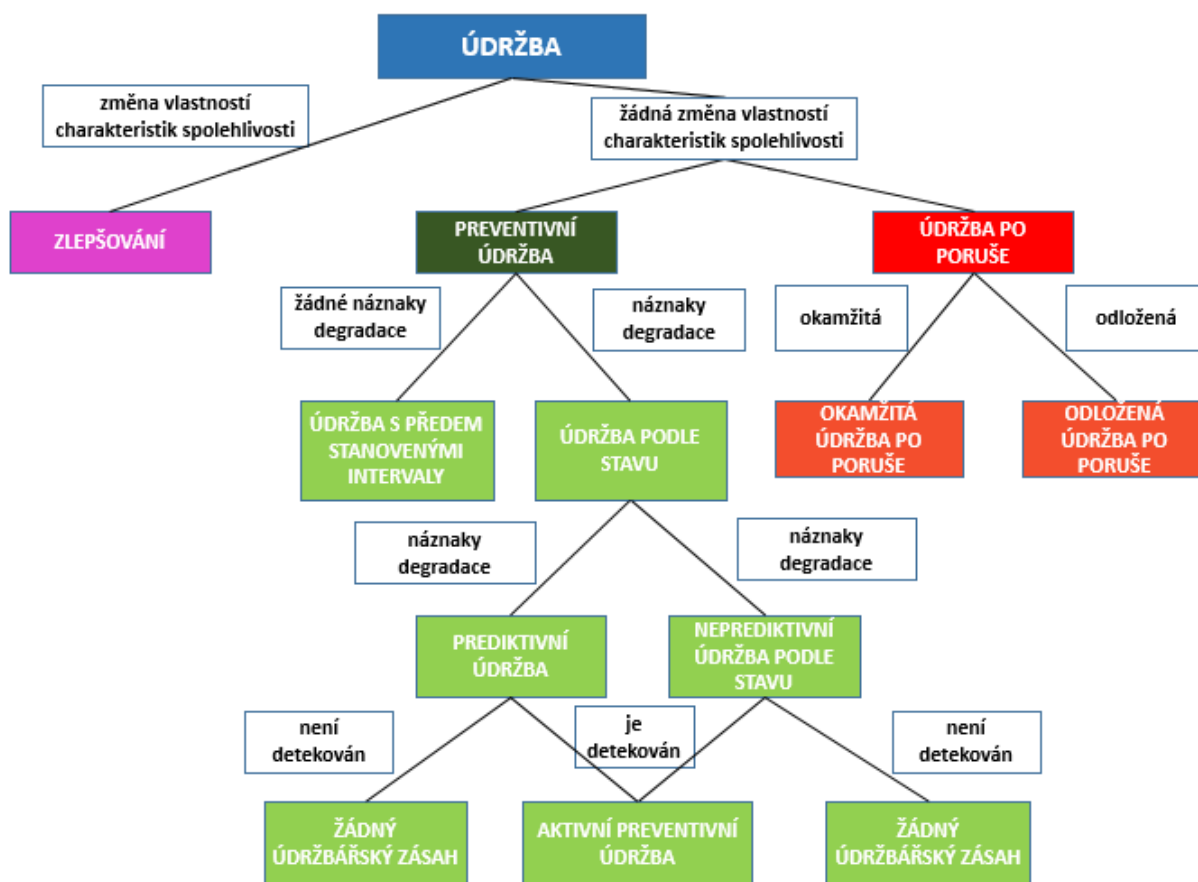
## 2 OBECNÉ POJEDNÁNÍ O ÚDRŽBĚ VE FIREMNÍ PRAXI

V této kapitole je pozornost soustředěna na úvod do údržby, kde se bude vycházet z normy ČSN EN 13306:2017. V dalším textu práce je proveden popis tribologie a věcí s tím souvisejících jako jsou: tribotechnická diagnostika, mechanismy a druhy opotřebení, maziva, diagnostické prostředky.

### 2.1 Úvod do údržby [1]

Údržba je dle normy ČSN EN 13306:2017 definována jako kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci. Ve výše uvedené normě se údržba rozděluje dle obr. 1.

Rozdělení údržby dle normy ČSN EN 13306:2017



Obr. 1 Rozdělení údržby dle ČSN EN 13306:2017 [1]

Jednotlivé pojmy jsou vysvětleny v následujícím textu, jsou použity dle [1] většinou doslovně citace.

### *Preventivní údržba*

Údržba prováděná se záměrem posoudit degradaci a/nebo zmírnit její následky a snížit pravděpodobnost poruchy objektu. Provádí se průběžně ještě před výskytem poruchy.

#### *Údržba s předem stanovenými intervaly*

Preventivní údržba prováděná v souladu se stanovenými časovými intervaly nebo stanoveným počtem jednotek používání, avšak bez předchozího zkoumání stavu objektu.

#### *Údržba podle stavu*

Preventivní údržba, která zahrnuje posouzení fyzického stavu, analýzu a případné následné zásahy údržby. Kde posuzování stavu se může provádět pozorováním obsluhy a/nebo inspekci a/nebo zkoušením a/nebo monitorováním parametrů systému atd. podle rozvrhu na požádání nebo nepřetržitě.

#### *Prediktivní údržba*

Je podskupinou údržby podle stavu. Je prováděná na základě předpovědi odvozené z opakované analýzy nebo ze známých charakteristik a následného vyhodnocení významných parametrů degradace objektu.

#### *Aktivní preventivní údržba*

Je podskupinou prediktivní údržby. Údržbářské zásahy jsou prováděny přímo na objektu tak, aby byl udržen ve stavu, ve kterém může vykonávat požadovanou funkci nebo byl do něho navrácen. Zásahy určené k obnově objektu jsou prováděny přímo nebo následně po degradacích pozorovaných prostřednictvím monitorování stavu, inspekce nebo zkoušení. Příklad aktivní preventivní údržby je uveden na obr. 2.



Obr. 2 Jednobodová automatická maznice SKF, Systém 24 [2]

#### *Údržba po poruše*

Údržba prováděná po zjištění poruchového stavu, zaměřená na obnovu objektu do stavu, ve kterém může vykonávat požadovanou funkci. Tento druh údržby je stále užívaný i po zavedení preventivní údržby z důvodu neschopnosti dosažení stoprocentní prevence.

#### *Okamžitá údržba po poruše*

Provádí se bez odkladu po zjištění poruchového stavu, aby se zabránilo nepříjemným následkům.

### *Odložená údržba po poruše*

Neprovádí se ihned po zjištění poruchového stavu, ale odkládá se podle daných pravidel. Například, není-li náhradní díl momentálně na skladě.

V [1] je také zmíněn pojem diagnostika poruchového stavu a pojem monitorování.

Diagnostika poruchového stavu je definována jako zásah prováděný za účelem zjištění poruch stavu, lokalizace poruch stavu a identifikace příčin. Monitorování stavu je činnost vykonávána buď manuálně, nebo automaticky zaměřená na měření charakteristik a parametru skutečného fyzického stavu objektu v předem stanovených intervalech.

Předkládaná diplomová práce je zaměřená na využití tribodiagnostiky v prediktivní údržbě ve firemní praxi. Proto dále bude pojednáno o tribodiagnostice. Tribodiagnostika je součástí tribologie.

## **2.2 Tribologie [3], [4]**

Slovo tribologie pochází z řeckého tribos, tedy tření. Tribologie je mezioborová věda, zabývající se obecně vzájemným působením povrchů tuhých těles při jejich relativním pohybu nebo při pokusu o vzájemný pohyb, kdy vzniká efekt tření.

Při tření styčných ploch dochází k jejich opotřebení a uvolňování částic z povrchu.

Tyto částice jsou vyplavovány mazacím olejem z třecích míst a spolu s olejem cirkulují v olejové soustavě stroje. Úkolem tribologie jako vědy, je shromažďování, třídění, uplatňování a další rozvoj znalostí o vlastnostech a chování tření a opotřebení třecích dvojic (tzv. tribologických uzlů). Tribologie se uplatňuje při návrhu ložisek, pístů, pístních kroužků a dalších komponent strojních součástí. Zasahuje však také i částečně do lékařství (umělé kloubní náhrady) a dalších oborů.

Jedním z oborů tribologie je tribotechnika, která se zabývá aplikací výsledků tribologie v praxi. S odkazem na předchozí definici se tedy tribotechnika zabývá komplexně praktickým řešením otázek týkajících se tření, opotřebení a mazání.



Obr. 3 Tribologie, příklad [3]

Dalším oborem tribologie je tribotechnická diagnostika.

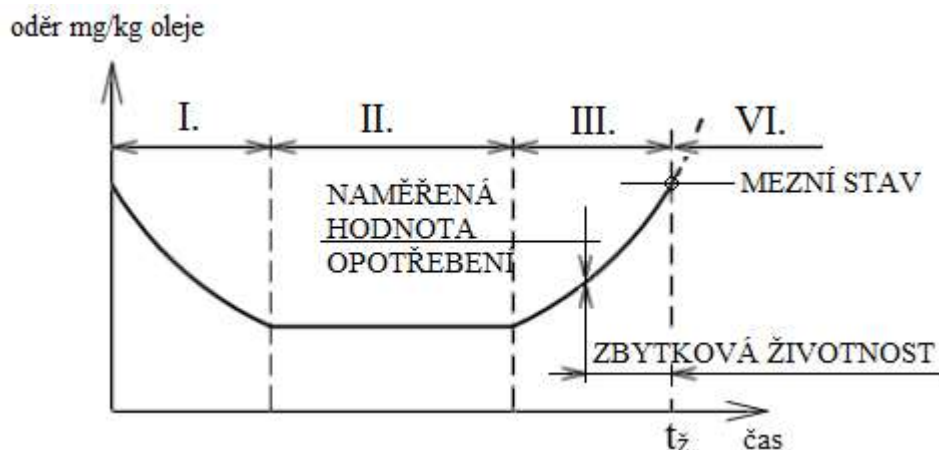
## 2.3 Tribotechnická diagnostika [4], [12]

Též známá jako tribodiagnostika je jednou z metod technické diagnostiky využívající maziva jako média pro získání informací o dějích, mechanických změnách a také degradaci maziva v technických systémech, v nichž jsou maziva aplikována. Tribotechnická diagnostika je tak účinným objektivním nástrojem pro sledování procesu opotřebení mechanických systémů či degradace olejové náplně. Jejím cílem je odhalit a včas upozornit na možnost poruchy strojního zařízení a tím předejít neplánovaným přerušením výroby. Mazané třecí uzly se postupně opotřebovávají, cirkulující olej strhává stopové částice kovu a ty zůstávají v oleji ve formě suspenze. Zvýšené množství nečistot v oleji znamená nejen větší opotřebení mazaných součástí, ale může způsobit i poruchy funkce mazací soustavy. Odborným vyhodnocením množství, velikosti a tvaru těchto částic získáme obraz o druhu opotřebení a technickém stavu jednotlivých třecích uzlů. Správná interpretace výsledků umožňuje včas upozornit na příznaky vznikající poruchy, v mnoha případech, také pomáhá lokalizovat místo vzniku mechanické závady. Sledování změn kvality vlastního maziva také dovoluje určení užité doby života maziva zjištěním stupně jeho znehodnocení, způsobené jak produkty tepelně-oxidačních procesů, tak i látkami z vnějšího prostředí (prachové částice, vlhkost). Sledování změn se provádí měřením a vyhodnocením takových parametrů maziva, jako je viskozita, obsah vody, kyselost, obsah měkkých kalů a zjišťováním celkového složení oleje pomocí infračervené spektroskopie. Přičemž na základě stanovení aktuálního stavu maziva je možné stanovit optimální intervaly výměny či regenerace.

Tribotechnická diagnostika tedy plní dva úkoly:

- a) sledování stavu opotřebení strojních zařízení,
- b) sledování degradace maziva.

Postupná degradační forma vzniku poruchy může dát možnost určit, respektive prognózovat tzv. zbytkovou životnost (čas do nutné opravy komponenty případně výměny oleje). Pro sledování nárůstu otěrových částic v mazivu se jako sledovaný parametr používá počet a velikost otěrových částic v závislosti na čase, který vyjadřuje křivka známá také jako vanová křivka (bathtub curve). V literatuře [4] je uveden graf závislosti průběhu opotřebení v čase. Vlastní opotřebení má určitý časový průběh (obr. 4), ze kterého je patrné, že rychlost opotřebení je různá pro jednotlivé fáze technického života daného objektu.



Obr. 4 Obecný průběh poškození vlivem opotřebení [4]

Na obr. 4 jsou znázorněny následující fáze:

- I. Záběh, převážný výskyt častých poruch
- II. Technický život, výskyt zejména náhodných poruch
- III. Stárnutí, oblast zvýšeného opotřebení, tím i možný častý výskyt poruch
- VI. Oblast častých poruch

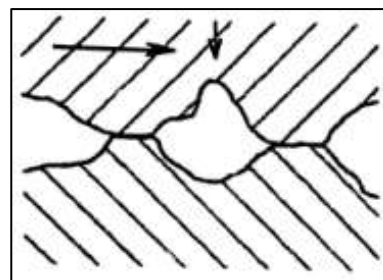
Dále jsou v obrázku naznačeny pojmy, jako naměřená hodnota opotřebení, mezní stav a zbytková životnost. Jejich význam vyplývá z obrázku či je všeobecně známý. Snaha je udržovat zařízení ve druhé fázi po co nejdelší dobu, v případě překročení třetí fáze je vhodné provést údržbářský zásah jako korekci.

## 2.4 Mechanizmy a druhy opotřebení [4], [18]

V technické praxi existují různé druhy a mechanismy opotřebení. Jednotlivé druhy včetně obrázků zobrazujících schéma opotřebení jsou podrobněji popsány v následující podkapitole.

### *Adhezivní opotřebení*

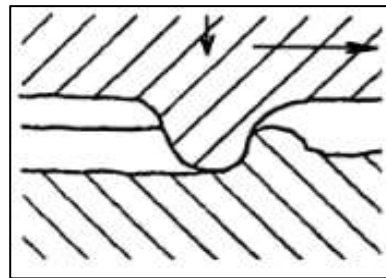
Při relativním pohybu funkčních povrchů dochází k jejich dotyku, k porušení povrchových vrstev, ke kovovému styku bez lubrikační vrstvičky a tím vzniku mikrosvarů s jejich následným porušováním, což vede k přenosu materiálu z jednoho povrchu na druhý. Tento proces vzniká především u povrchů s podobným složením materiálů nebo vysokým sklonem ke spojování. Tento sklon je výrazně ovlivňován přítomností maziva mezi funkčními povrchy. Intenzivní forma adhezivních účinků se nazývá zadíráání. Typickým projevem poškození je jemný adhezivní oděr, studené svařování, opotřebení, rýhy, otvory a nárůstky. V praxi často dochází k tomu, že původně adhezivní opotřebení se vlivem uvolňování a vytrhávání částic materiálu z povrchů součástí postupně mění v opotřebení abrazivní.



Obr. 5 Adhezivní opotřebení [4]

### *Abrazivní opotřebení*

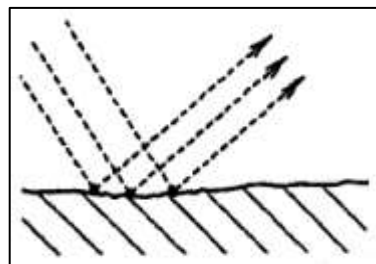
Je způsobeno rozrýváním a řezáním měkkého povrchu jednoho tělesa drsným a tvrdším povrchem druhého tělesa. Tentýž účinek nastává působením volných částic, ať už oddělených z povrchů nebo vnilých z okolí (nečistoty). Typickým poškozením jsou škrábance, rýhy, mikroskopické třísky a podobně. Velikost opotřebení je dána materiálovým složením volných částic, pak jejich tvarem, velikostí, množstvím a také tvrdostí a pevností.



Obr. 6 Abrazivní opotřebení [4]

### *Erozivní opotřebení*

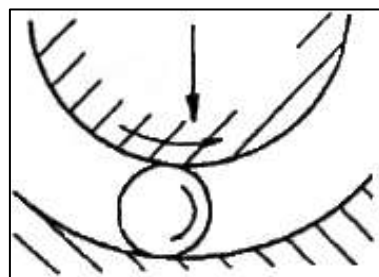
Povrch je poškozován pevnými částicemi nesenými proudem kapaliny nebo plynů. Porušení materiálu je nerovnoměrné, často výrazně zvlněné a bývá ovlivněno mnoha faktory, mezi které patří například velikost, tvar a tvrdost částic, jejich rychlost a úhel dopadu, také materiálové vlastnosti povrchu součásti a v neposlední řadě také teplota a chemické složení proudícího média.



Obr. 7 Erozivní opotřebení [4]

### *Únavové opotřebení*

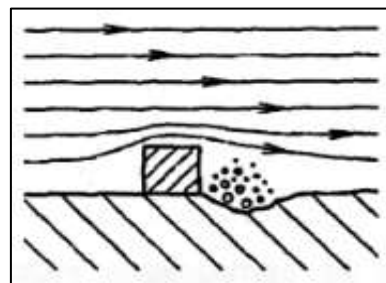
Při opakujícím se časově proměnném namáhání povrchové vrstvy se iniciuje tvorba zárodků povrchových a podpovrchových trhlin, které se šíří, spojují, až začnou uvolňovat částice materiálu povrchu. To má za následek vznik příčných a hřebenových trhlin, důlků a šedých skvrn (micropitting).



Obr. 8 Únavové opotřebení [4]

### *Kavitační opotřebení*

Oddělování částic a poškození povrchu v oblasti zanikání kavitačních bublin v kapalině. Největší účinky kavitace se projevují v místech, kde dochází v proudící kapalině ke snížení tlaku v důsledku zvyšující se rychlosti proudění kapaliny. Na povrchu součásti se v těchto místech objeví kavitační bubliny vyplněné plynem a jejich následný zánik způsobuje hydrodynamické rázy, tzn. namáhání povrchu součásti a s ním spojené vytrhování částic z povrchu.



Obr. 9 Kavitační opotřebení [4]

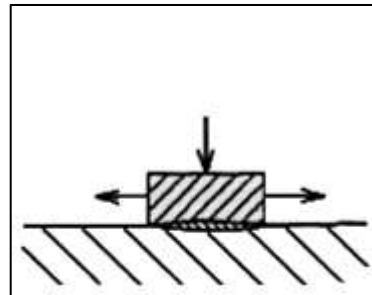
Velikost opotřebení ovlivňuje mimo jiné teplota a tlak kapaliny, včetně obsahu plynů v kapalině a její viskozity.

### *Korozivní opotřebení*

Vyskytuje se při práci třecí dvojice v aktivním prostředí při vniknutí vzdušného kyslíku z okolí hydraulického systému, dále při stárnutí maziva. Důsledek korozivního opotřebení je bodová koroze způsobující otvory a trhliny.

### *Vibrační opotřebení*

Tribologická dvojice vykonává vibrační nebo vratný pohyb s velmi malou amplitudou kmitání. Vlastní opotřebení svým způsobem probíhá dvoustupňově. V prvním kroku tření, při kterém je porušována adhezivní povrchová vrstva. V druhém produkty adhezivního opotřebení oxidují a působí abrazivně. Typickým projevem vibračního opotřebení je hnědočervené nebo hnědočerné zabarvení povrchů součástí jako projevu vznikajícího oxidu železa.



Obr. 10 Vibrační opotřebení [4]

## **2.5 Maziva [5], [12], [21]**

Úlohou maziva je snižovat tření a eliminovat opotřebení mezi stykem dvou po sobě navzájem se pohybujících povrchů. Z tohoto důvodu je mazivo záměrně vpravováno mezi funkční plochy tribologického systému. Další úlohou maziva je také ochrana hydraulického systému proti korozi a regulace teploty. Mazivo odvádí teplo z míst s nejvyšším gradientem do míst s nižším.

Výběr optimálního maziva, jakož to konstrukčního prvku, je jedním z rozhodujících faktorů každého spolehlivého a ekonomického provozu. Maziva je možné rozdělit dle formy, ve které se vyskytují v zařízeních na: plynná, kapalná, plastická a tuhá. Důležitou součástí maziva jsou jeho přísady, které významně ovlivňují jeho vlastnosti.

### *Přísady do maziv*

Zajištění požadovaných vlastností se většinou nedosahuje výrobou čistých maziv, ale přidáním přísad (aditiv) do základového oleje. Možné přísady jsou:

- Antioxidanty – potlačení oxidačních dějů
- Modifikátory tření – mazivostní a protioděrové přísady
- Protikorozní přísady – potlačení koroze
- Detergenty a disperzanty – čistí plochy od usazenin a rozptylují nečistoty
- Protipěnové přísady
- Modifikátory viskozity a viskozitně teplotní křivky
- Depresanty – snižují teplotu tuhnutí
- Biocidy – potlačují vznik mikroorganismů a tím omezují snížení životnosti maziv



## Hydraulické oleje

Hydraulický olej je takový olej, který se používá v hydraulických systémech jako médium na přenášení tlaku (čerpadlo – rozvaděč – pístnice). Je důležitou podskupinou průmyslových maziv nacházející uplatnění jak v průmyslu (obráběcí centra, lisy, regulační systémy strojů), tak v jiných oborech, které využívají mobilní mechanismy s hydrostatickými hydraulickými systémy, pro které je hydraulický olej vhodné médium.

Požadovanou vlastností hydraulického oleje je stabilita, konkrétně se jedná o odolnost proti stárnutí, proti zvyšování viskozity, tvorbě kalů a úsad. Hydraulický olej je tvořen základní složkou, kterou je základový olej a chemickými látkami zvanými přísady, také známými jako aditiva. Tyto složky tvoří výslednou kvalitu oleje. Pro dosažení kvalitního a dlouhodobě stabilního oleje, je třeba zvolit správný základový olej v kombinaci s přísadami, včetně antioxidantů.

Degradace v čase působící na olej se nazývá stárnutí oleje. Je nevyhnutelná, avšak vhodnou kombinací přísad se dá minimalizovat. Příčiny stárnutí oleje jsou oxidace za přítomnosti kyslíku, vody nebo kovů přítomných v oleji. Další příčinou je termální degradace.

Rozdělení hydraulických olejů, podle:

### 1. Výkonnostní úrovně hydraulických olejů dle ČSN EN ISO 6743-4

Prvním možným rozdělením je výkonnostní úroveň hydraulických olejů, tedy úroveň jejich užitných vlastností. V praxi se obecně můžeme setkat se čtyřmi skupinami olejů.

#### A. Oleje pro nenáročné soustavy

Skupina olejů odpovídá požadavkům na výkonnostní kategorii označovanou HH. Jejich použití bývá omezeno na teploty do 60 °C a je pro ně typická kratší výměnná lhůta. Jejich použití je u hydraulických systémů s menšími provozními tlaky, například u hydrogenerátorů. Co se týče složení, tak se jedná o rafinovaný ropný olej, zpravidla neobsahující žádné zušlechťující přísady. Označení oleje dle DIN 51 524 odpovídá písmenu H.

#### B. Oleje se zvýšenou životností pro nenáročné soustavy

Skupina olejů klasifikovaných z hlediska výkonnostní úrovně písmeny HL. Mají podobné vlastnosti jako oleje skupiny HH, avšak odlišují se od nich především vyšší termooxidační stabilitou, která se v praxi projevuje jejich delší životností. Oleje typu HL již vedle rafinovaného ropného oleje obsahují antioxidanty a také zušlechťující přísady proti korozi a oxidaci. Jedná se například o turbínové oleje. Označení oleje dle DIN 51 524 odpovídá HL.

#### C. Oleje pro namáhané soustavy

Jedná se o nejpoužívanější skupinu hydraulických olejů. Jejich výkonnostní úroveň odpovídá požadavkům na označení HM. Oproti předchozí skupině obsahují takové oleje obvykle zvýšené množství antioxidantu, látky zlepšující schopnost odlučovat vodu, obsahující protioděrovou

složku, přísady proti pěnivosti, korozi, oxidaci a přísadu zvyšující viskozitní index. Jsou obecně používány pro hydraulické systémy se silně zatíženými součástmi a požadavkem na dobrou separaci vody. Označení oleje dle DIN 51 524 odpovídá HLP.

#### D. Oleje pro namáhané soustavy pracující ve ztížených klimatických podmínkách

Jedná o výkonnostně nejvyšší kategorii hydraulických olejů, jejichž vlastnosti odpovídají označení HV. Užité vlastnosti těchto olejů korespondují s vlastnostmi předchozí skupiny HM doplněné o legující přísadu, která zlepšuje viskozitně-teplotní vlastnosti, tedy ještě více zvyšuje viskozitní index. Zvýšený viskozitní index (snížená závislost viskozity na teplotě) tyto oleje předurčuje k celoroční funkci v namáhaných (zejména mobilních) hydraulických systémech. Označení oleje dle DIN 51 524 odpovídá HVLP.

## 2. Viskozity, tekutosti oleje

Druhým důležitým hlediskem uplatňovaným při třídění hydraulických olejů je viskozitní-tekutost oleje. Třídění se řídí podle ISO VG (kinematická viskozita oleje při 40 °C). Třídící číslo viskozity je uvedeno jako dvojčíferné číslo za výkonnostní úroveň hydraulického oleje. Viskozita je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.

Na trhu jsou v nabídce oleje využívající viskozitní třídy ISO VG 10 až 100. Avšak tyto viskozitní třídy 10 a 100 se používají jen velmi okrajově. V praxi se nejčastěji setkáváme s aplikacemi olejů viskozitních tříd ISO VG 22, 32, 46 a 68. Obvykle pro výkonnostní kategorie HM. Příklady viskozitních tříd i s hodnotami jsou v tabulce 1.

Tabulka 1 Příklady viskozitních tříd [5]

Viskozitní třída	Střední viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> /s]	Viskozitní rozpětí při 40 °C [mm <sup>2</sup> /s]
ISO VG 2	2,2	1,98 - 2,42
ISO VG 5	4,6	4,14 - 5,06
ISO VG 10	10	9,0 - 11,0
ISO VG 22	22	19,8 - 24,2
ISO VG 46	46	41,4 - 50,6
ISO VG 68	68	61,2 - 74,8

## 2.6 Diagnostické prostředky [4]

Jsou přístroje, pomůcky a pomocná zařízení sloužící k realizaci diagnostických metod a získání hodnot hledané diagnostikované veličiny. Patří sem také pracovní postupy určené k analýze a vyhodnocení stavu diagnostikovaného objektu. V této práci, vzhledem k popisu tribodiagnostiky, bude pozornost věnována právě tribodiagnostickým prostředkům. Příkladem takového tribodiagnostického prostředku je čítač množství pevných částic nebo infračervený spektroskop používaný pro analýzu složení oleje. Konkrétní diagnostické prostředky i s principem funkce budou popsány v kapitole 4.3.

Diagnostické prostředky musí zejména zajistit:

- objektivnost kontroly a hodnocení diagnostických parametrů
- přesnost, věrohodnost a stálost zjištěných hodnot
- možnost měření bez demontáže objektu, případně měření při jeho činnosti
- minimální dobu potřebnou pro přípravu zařízení a provedení měření
- jednoduchost užití a obsluhy

Pro kvalitní vyhodnocení vlastností oleje je nutné jeho správné odebrání. Tomuto kroku je třeba věnovat zvýšenou pozornost, protože pokud dojde k chybě zde na začátku diagnostického procesu, tak je tím výrazně ovlivněn celý proces a tím i výsledek měření. Této problematice bude věnována následující podkapitola.

### ***Odběr vzorku***

Vzorek musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení a musí být odebrán před doplněním olejové náplně novým olejem. Vzorky by měla odebírat jedna osoba, v ostatních případech musí být vypracován přesný pracovní postup a jednotná metodika odběru. Postup odběru vzorku popisuje norma ČSN 65 6207, která se zabývá konkrétně odběrem vzorku hydraulických kapalin pro účely sledování množství a velikosti nečistot.

Všeobecně platí, že vzorek je odebrán do suché, čisté vzorkovnice, která musí být ihned po odběru pečlivě uzavřena. Obsah vzorkovnice je 100 až 300 ml. Každé zařízení, z něhož byl vzorek odebrán, musí být před samotným odběrem dle výše uvedené normy minimálně 20 minut v provozu nebo maximálně 15 minut po zastavení stroje, z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Před odběrem je třeba odpustit přibližně 20 ml oleje, z důvodu propláchnutí odběrné hadičky a odstranění možné vrstvy prachu usazené na ventilu. Samotný odběr je vhodné provést odpuštěním potřebného množství oleje z ventilu hydraulického systému umístěného před filtrem. Odebraný vzorek se popíše a předá k rozboru. Popis musí být jasný a čitelný.

Vhodný popis vzorku oleje při předání do laboratoře obsahuje například tyto informace:

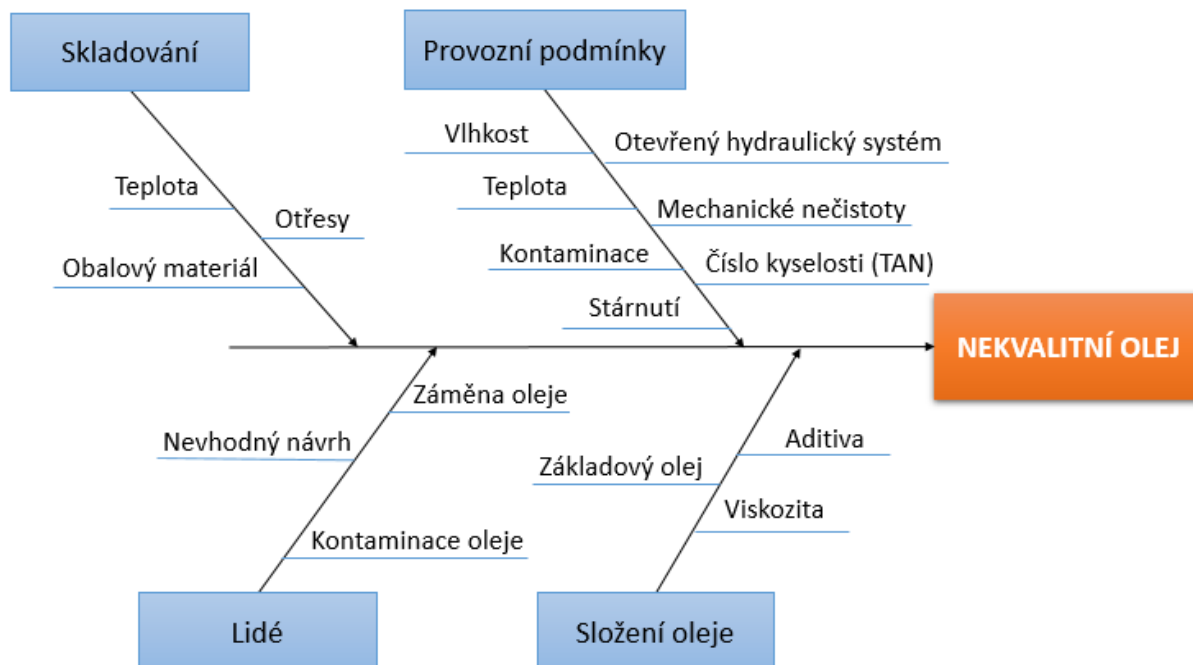
- číslo a název stroje,
- druh maziva,
- mazané místo,
- datum odběru,
- jméno pracovníka, který odběr provedl,
- označení požadovaných rozborů.

Samotné vyhodnocení oleje se liší podle způsobu využití:

- v mazacích službách – objektivní posouzení kvality (stavu) olejů, tzn. přechod z časového plánu výměn na výměny na základě laboratorního rozboru,
- v kontrolně inspekční a revizní činnosti – oblast objektivizace detekování a lokalizování poruchy. Dále prognózování zbytkové životnosti, tedy doby do nutné opravy,
- v provozu – nejčastěji se jedná o zefektivnění výroby pomocí produktivního přínosu údržby (snížení doby neplánovaných odstávek, snížení poruchovosti, zvýšení provozní spolehlivosti atd.),
- v údržbě – tzn. na základě objektivního určení technického stavu plánovat a řídit další průběh údržby, resp. výroby. V provozní praxi mluvíme o přechodu od preventivně korektní na preventivně proaktivní údržbu s produktivním přínosem do výroby.

### 3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

V této kapitole budou pomocí diagramu příčin a následků (Ishikawův diagram) podrobně rozebrány vlivy, které negativně ovlivňují kvalitu oleje (obr.11). Klíčovým vlivům bude věnován následující text diplomové práce.



Obr. 11 Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram)

#### 1. Skladování

Jedná se o uložení oleje na bezpečné místo, kde je z určitého důvodu olej umístěn, než dojde k jeho použití v hydraulickém zařízení. Skladuje se nový i již použitý olej. Použitý olej například pro užití filtrace mimo samotné hydraulické zařízení, z důvodu zhoršení jeho složení a vlastností. Na skladování mají zejména vliv následující faktory.

- Teplota musí být během skladování zajištěna dle předepsaných pravidel uvedených výrobcem. Konkrétní rozmezí teplot závisí na druhu oleje, obecně však platí, že doporučená skladovací teplota se pohybuje od 5 do 50°C. Důležité je se vyhnout zejména dlouhodobým vyšším teplotám (letní období) a teplotám pod bodem mrazu, kdy může dojít k zvýšené degradaci oleje.
- Otřesy (vibrace) mají negativní vliv na olej, proto je potřeba je v případě zvýšené míry omezit vhodným opatřením. Otřesy v rámci podniku jsou způsobeny zejména provozem strojního parku (buchary, lisy, aj.) či dopravou. Vlivem otřesů může docházet ke zpěnění, zrychlené degradaci a dalším negativním vlivům působícím na olej. Vhodné opatření proti vlivu otřesů na olej je například přesunutí skladu oleje do větší vzdálenosti od výrobních zařízení produkující tyto otřesy. V případě nemožnosti přesunutí se používají izolační podložky.

- Obalový materiál je jakýkoliv kontejner či nádoba, v níž je olej uskladněn. Vliv na kvalitu oleje má zejména druh použitého materiálu, kdy může docházet k ovlivnění obsahu částicemi ze stěn kontejneru. Vhodné je použití korozivzdorné či plastové nádrže.

## 2. Provozní podmínky

Jedná se o podmínky vzniklé za provozu hydraulického zařízení. Na kvalitu oleje během doby provozu mají zejména vliv následující faktory.

- Otevřený hydraulický systém. Po celou dobu provozu oleje v zařízení, je nezbytné zajistit utěsnění hydraulického systému. V opačném případě dochází k nasycení oleje vzdušnou vlhkostí a také ke znečištění olejové náplně prachovými a jinými částicemi z atmosféry.
- Teplota má značný vliv na rychlost stárnutí oleje, v případě velmi vysoké teploty, může dojít i k přepálení oleje. Se zvyšující teplotou také klesá viskozita a tím schopnost tvořit mazací film. Hodnotu změny viskozity v závislosti na teplotě vyjadřuje viskozitní index oleje.
- Ke kontaminaci oleje může dojít mnoha způsoby. Ať vlivem nečistot z okolí, zvyšujícím se množstvím otěrových částic pocházejících z částí strojního zařízení (pístnice, čerpadlo, aj) či průnikem jiného hydraulického oleje z důvodu vady těsnění.
- Kyselost oleje, která se značí TAN, má značný vliv na rychlost stárnutí oleje. Čím více kyselých látek je přítomno v oleji, tím rychleji k degradaci dochází. Kyselost oleje je způsobena zejména oxidací prvků. Blíže bude probrána v kapitole 4.3.
- Stárnutí oleje, jak bylo zmíněno v kapitole 2.5. stárnutí oleje je nevyhnutelné, avšak lze ho minimalizovat použitím vhodných opatření. Příčinou stárnutí oleje je například oxidace, dále přítomnost vody nebo kovů přítomných v oleji. Další příčinou je degradace vlivem teploty, která je popsána v prvním bodě systémového rozboru.

## 3. Lidé

Zde se myslí pracovníci údržby, konstruktéři a ostatní lidé, kteří mohou přijít do kontaktu s olejem používaným ve výrobních zařízeních.

- Nevhodný návrh oleje, tímto bodem se myslí poddimenzování případně záměna potřebných užitečných vlastností očekávaných od oleje. Může být zapříčiněn nedostatečnou znalostí problematiky. V takovém případě pak olej neposkytuje potřebné vlastnosti, a tím dojde k nekvalitě oleje.
- Kontaminace oleje, jedná o neúmyslnou kontaminaci olejové náplně v zařízení nebo znečištění odebíraného vzorku zapříčiněnou lidskou chybou. Ta může být zaviněna například nepozorností, nedodržením postupu odběru vzorku, či nevhodným zapojením filtrace, kdy během samotného procesu odběru dojde ke znečištění oleje v hydraulickém systému nebo ke znečištění odebíraného vzorku.

- Záměna oleje, jedná se o v praxi poměrně časté pochybení, kdy dojde z důvodu nepozornosti či časového tlaku na zaměstnance údržby k doplnění stávajícího hydraulického oleje jiným druhem oleje s odlišnými vlastnostmi. Tím může dojít k výrazné změně mazacích vlastností oleje.

#### 4. Složení oleje

Významný vliv na kvalitu oleje má i samotné složení oleje. Dle přidání množství a druhu aditiv se mohou výrazně změnit vlastnosti a tím i místo a druh použití oleje.

- Základový olej je hlavní složkou hydraulického oleje. Tvoří ho zejména rafinovaný ropný olej. Vlastnosti základového oleje závisí na druhu použité základové složky a její kvalitě, ta je ovlivněna zejména úrovní rafinace.
- Samotná viskozita je jedna z nejdůležitějších vlastností oleje a je dána jeho složením. S viskozitou souvisí zejména pojem viskozitní index. Ten vyjadřuje závislost viskozity na teplotě. Přičemž platí, že čím vyšší je viskozitní index, tím méně se mění viskozita s teplotou. Viskozita zejména ovlivňuje tvorbu mazacího filmu, což je u hydraulických olejů klíčový požadavek pro bezproblémový chod zařízení. Podrobněji bude viskozita popsána v kapitole 4.3.
- Aditiva, jsou chemické látky výrazně ovlivňující vlastnosti oleje. Dle druhu a množství aditiv jsou oleje děleny do různých výkonnostní úrovní. Podrobněji bylo popsáno v kapitole 2.5.

Všechny tyto vlivy v případě jejich výskytu ovlivňují kvalitu oleje, na obr. 11 je následkem právě nekvalitní olej.

V následujících kapitolách diplomové práce budou z tohoto hlediska probrány zejména provozní podmínky a možnosti jejich měření a hodnocení.

## 4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU ÚDRŽBY VE FIRMĚ ŠKODA AUTO A.S.

V této kapitole je pozornost věnována současnému stavu údržby ve firmě Škoda Auto a.s. dle zadání práce s důrazem na tribodiagnostiku a off-line a on-line diagnostické prostředky.

### 4.1 Popis společnosti Škoda Auto a.s. [6], [7], [8]

Společnost byla založena v roce 1895, kdy dva cyklisté mechanik Václav Laurin a knihkupec Václav Klement založili malý podnik Laurin & Klement na výrobu jízdních kol. Postupně začali vyrábět motocykly a v roce 1905 i automobily. Od roku 2000 je 100 % vlastníkem společnosti Škoda Auto a.s. (logo společnosti na obr. 12) Volkswagen Group. V současné době společnost zaměstnává téměř 32 tisíc zaměstnanců a obrat firmy za rok 2017 přesáhl 407,4 mld. Kč.

Škoda Auto a.s. má v České republice tři výrobní závody. V současné době patří mezi světové značky v automobilovém průmyslu. Pohled na výrobní závod Škoda Auto v Mladé Boleslavi je na obr. 13.



**ŠKODA**

Obr. 12 Logo společnosti Škoda Auto a.s. [6]



Obr. 13 Výrobní závod Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi [8]

### 4.2 Stávající stav údržby ve společnosti Škoda Auto a.s.

Společnost Škoda Auto, a.s. si je vědoma důležitosti údržby pro zajištění stabilní výroby a dlouhodobé spokojenosti zákazníků. Z toho důvodu je údržba rozdělena na více úrovní. Každá výrobní jednotka (ve firmě označovaná hala V1, V2, M1, M2 apod.) má svoje vlastní oddělení údržby, které zajišťuje opravy po poruše, případně další údržbu dle obr. 1. Vedle lokální údržby realizované na každé hale, existuje ještě oddělení Centrální technický servis sloužící jako podpora údržby pro všechny výrobní haly i závody v České republice. Tam se zabývají například měřením a vyhodnocováním vibrací, defektoskopií



a tribodiagnostikou. Toto oddělení funguje samostatně a nabízí podporu jednotlivým výrobním halám v případě nedostatečného vybavení či složitosti řešení konkrétního problému.

V moderně zařízeném Centrálním technickém servisu, konkrétně v tribodiagnostické laboratoři jsou inženýři schopni provést následující úkony.

*Sledování degradace olejové náplně:*

- kinematické a dynamické viskozity dle ČSN EN ISO 3104
- číslo kyselosti dle ČSN dle ČSN ISO 6618
- infračervená spektroskopie
- obsahu antioxidantů pomocí IČ

*Sledování znečištění olejové náplně:*

- množství měkkých kalů dle ČSN 65 6220
- množství pevných částic dle normy ČSN ISO 4406
- množství vody dle ČSN EN ISO 12937

*Dále jsou schopni:*

Filtrovat procesní kapaliny, dle požadavků údržby. Udělovat doporučení příslušným údržbám, zda má daný hydraulický olej potřebné vlastnosti, případně dá-li se filtrovat nebo musí dojít k výměně. Součástí každé analýzy vzorku oleje je technická zpráva. Tato zpráva obsahuje informace, jako jsou aktuální hodnoty měření a závěr s doporučením pro další používání zařízení či olejové náplně. Všechny výše zmiňované úkony prozatím pracují pouze v off-line režimu. Je tedy potřeba přijet na místo odběru, odebrat vzorky a ty přepravit do laboratoře k měření a vyhodnocení.

### **4.3 Metody tribodiagnostiky ve společnosti Škoda Auto a.s. [4], [18], [21], [23]**

V této kapitole budou popsány off-line a on-line metody zjišťování chemických a fyzikálních parametrů hydraulického oleje.

Změny vlastností oleje, ke kterým během provozu hydraulických zařízení dochází, vyžadují z hlediska tribotechnické diagnostiky sledování zmíněných parametrů. Následující podkapitola předkládá přehled tribodiagnostických metod používaných pro hodnocení chemicko-fyzikálních parametrů v tribodiagnostické laboratoři Centrálního technického servisu ve Škoda Auto a.s. Popsána bude nejprve off-line tribodiagnostika a následně on-line tribodiagnostika.

#### **4.3.1 Off-line tribodiagnostika**

Zkoumaný vzorek oleje je odebrán z hydraulického zařízení, převezen do laboratoře a následně analyzován. Nevýhodou off-line diagnostických metod je právě potřeba logistických přesunů, s tím spojená časová náročnost a přidané náklady na dopravu. Jedná se o diagnostiku prováděnou ve většině případů v laboratoři za dodržení laboratorních podmínek měření. Tomu také odpovídá vysoká přesnost výsledků a dobrá opakovatelnost výsledků měření.

Příklady off-line tribodiagnostických prostředků jsou coulometr pro měření vody, kolorimetr pro měření měkkých kalů, viskozimetr pro měření dynamické a kinematické viskozity, infračervená spektroskopie pro přehled o složení vzorku či coulometr pro měření kyselosti oleje. Pohled na část vybavení (tribodiagnostických prostředků) laboratoře Centrálního technického servisu ve Škoda Auto a.s. je na obr. 14.



Obr. 14 Tribodiagnostická laboratoř Škoda Auto a.s.

### ***Měření viskozity***

Viskozita je jednou ze základních charakteristik kapalin. Je to veličina, která charakterizuje vnitřní tření kapaliny. To závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Přičemž platí, že kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, tedy větší odpor pohybu kapaliny či těles v kapalině. Definice viskozity říká, že: viskozita udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami proudící kapaliny. Viskozita je závislá především na teplotě, dále rychlosti deformace a složení vzorku. Správná viskozita je důležitá pro vznik hydrodynamického režimu mazání a vytvoření optimální tloušťky mazacího filmu. Viskozitu udává výrobce s důrazem na pracovní tlak systému a přenášené síly. Teplotní závislost viskozity oleje udává viskozitní index. Čím vyšší je viskozitní index, tím je viskozita méně závislá na teplotě. V praxi se parametrem viskozity ověřuje zejména použití správného druhu hydraulického oleje, nebo zda nedošlo k doplnění olejem s jinou viskozitou.

Viskozita se dělí na dynamickou viskozitu  $\eta$ , ta udává odpor, který kladou dvě sousední vrstvy kapaliny vzájemnému pohybu, jednotka  $[\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}]$  a kinematickou viskozitu  $\nu$  stanovenou jako, poměr dynamické viskozity kapaliny k její hustotě  $\rho$ , jednotka  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ ,  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ , tedy  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ . Viskozita se měří pomocí viskozimetru, který je na obr. 15.



Obr. 15 Viskozimetr SVM™ (Stabinger Viskozimetr) s autosamplrem, Anton Paar [9]

Technické parametry viskozimetru uvedeného na obrázku 15:

Reprodukovatelnost 0,35%

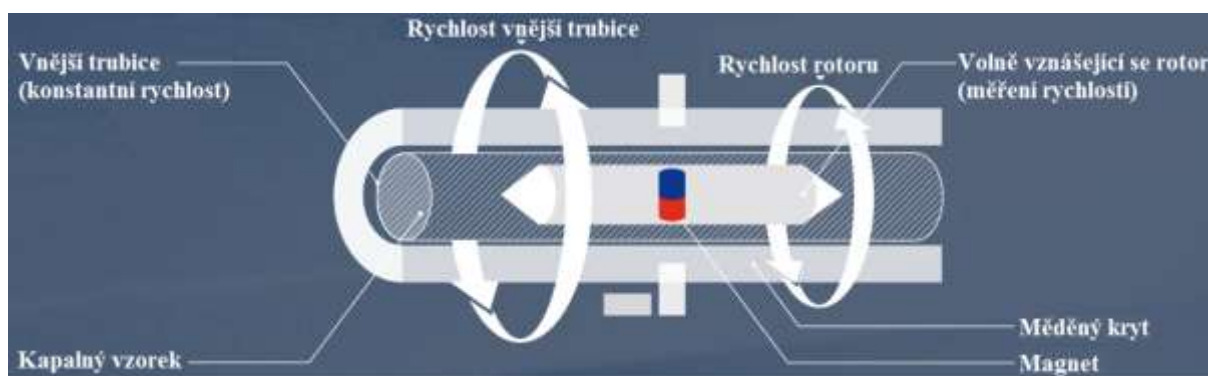
Opakovatelnost 0,1%

Minimální objem vzorku 2,5ml

Nyní bude popsána metoda a princip stanovení viskozity.

V laboratoři se měří kinematická viskozita dle ČSN EN 16896 a ISO 3104 přístrojem totožným jako na obr. 15. Jedná se o rotační viskozimetr od společnosti Anton Paar, primárně určený k měření dynamické viskozity a hustoty kapalin. Viskozimetr je však zároveň schopný, ze znalosti obou zmiňovaných hodnot veličin, stanovit hodnotu kinematické viskozity, která se díky vhodné jednotce [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] v praxi využívá.

V následujícím textu je vysvětlen princip funkce rotačního viskozimetru, který je uveden na obr. 16. Měření probíhá v integrované cele, ta se skládá z trubice, která se otáčí konstantní rychlostí a je naplněna vzorkem. Měřicí rotor s vestavěným magnetem se volně vznáší ve vzorku. Třecí síly otáčejí rotorem, zatímco magnetické síly tento pohyb zpomalují. Krátce po spuštění měření dosáhne rotor rovnovážné rychlosti. Tato rychlost je závislá na viskozitě vzorku. Principem je tedy měření momentu síly, který musí překonávat rotující těleso ponořené do kapaliny.



Obr. 16 Schéma principu funkce rotačního viskozimetru [10]

Nyní bude uvedena mezní hodnota viskozity dle normy ČSN EN 16896.

Dle výše zmiňované normy jako tolerance viskozity stanovena jako  $\pm 10\%$  hodnoty uvedené výrobcem pro daný typ oleje (např. pokud má olej viskozitu  $46 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , pak je hodnota tolerance viskozity  $46 \pm 4,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

### **Stanovení množství vody**

Voda se může nacházet v oleji ve třech různých formách: voda volná, emulgovaná a rozpuštěná. V případě malého množství přítomné vody (cca do 50ppm) je schopna se v oleji rozpustit. Při větším množství vody však dochází k tvorbě emulze, nebo se voda odděluje ve formě volné vodné vrstvy.

Přítomnost vody v hydraulickém oleji je nežádoucí. Způsobuje změnu chemicko-fyzikálních vlastností oleje a také korozi hydraulického systému. Z toho důvodu je důležité množství vody analyzovat, udržovat v mezích tolerance, například dle normy ČSN ISO 760 a v případě překročení hodnot přebytečnou vodu z oleje odstranit. Pro bezporuchový provoz se dle výše zmiňované normy, za obecných podmínek, doporučuje udržovat nasycení pod 100ppm. Při překročení hodnoty nad 200ppm je zvýšená pravděpodobnost koroze systému. Maximální množství vody dle místa použití oleje je uvedeno v tabulce 2.

Zvýšené množství vody v oleji je způsobeno kontaktem hydraulického oleje se vzdušnou vlhkostí vzniklým kvůli netěsnosti hydraulického systému. V takovém případě je nutné opětovné utěsnění hydraulického systému a použití technologie schopné odstranit vodu obsaženou v oleji, například s použitím zařízení Vacuclean VCM 50 určené pro filtraci volné a vázané vody. Zařízení funguje na principu odpařování vody z oleje ve vakuu při teplotě  $35^\circ\text{C}$ , hodnoty nasycení se po filtraci pohybují okolo 45ppm. Další použitelnou metodou je sorbování volné vody, pomocí celulózových filtrů, kdy dochází k zachytávání vody ve filtru, hodnoty nasycení po filtraci touto metodou se pohybují okolo 60ppm.

V dalším textu je popsáno stanovení množství vody podle Karla Fischera dle ČSN EN ISO 12937.

Využívá se jódometrické měření množství vody, známé také jako Karl Fischerova titrace, pojmenovaná podle německého zakladatele této metody. Titrace (odměrná analýza) je běžná laboratorní metoda kvantitativní analýzy. Díky dnešnímu stavu elektroniky, zejména mikroprocesorů se tato metoda stanovení automatizovala s využitím coulometrie. Přístroj využívající

jódometrické měření množství vody pro stanovení množství vody přítomné v oleji je vidět na obr. 17.



Obr. 17 Karl Fischer Coulometr 874, Metrohm [11]

Coulometrická titrační metoda probíhá na principu elektrochemické reakce. Jedná se o velmi přesnou metodu používanou k určení stopového množství vody. Vysoké přesnosti výsledku i při malém množství vody se dosahuje díky tomu, že se stanovené množství měřené látky převádí na měření proudu. Množství stanovené látky se vypočte z prošlého náboje potřebného k úplnému průběhu reakce.

Výsledkem měření je vždy celkové stanovené množství vody ve vzorku v mikrogramech. Po zadání hmotnosti vzorku (tzv. navážky), je výsledek přepočten na koncentraci vody v ppm.

Další dostupná, zejména dříve používaná metoda pro určení přítomnosti vody v oleji je tzv. praskací test. Provádí se kápnutím kapky testovaného oleje na horkou plochu (teplota cca 130°). Je-li ve vzorku přítomna voda, ozve se praskání. V současné době se také využívá pro stanovení množství vody v oleji infračervená spektroskopie.

Tabulka 2 Maximální množství vody dle místa použití oleje [12]

Místo použití oleje	Maximální hodnota vlhkosti
Vysokotlaké hydraulické prvky	100 ppm
Turbíny a ostatní rotační stroje	100 ppm
Středotlaké a vysokotlaké hydraulické prvky	100 ppm
Rotační zařízení střední důležitosti	250 ppm
Převodovky a ostatní strojní zařízení	500 ppm

Dle výše zmiňované normy je tolerance množství vody v oleji ovlivněna vedle místa použití oleje také velikostí tlaku oleje v hydraulickém systému. Pro vysoké tlaky, kde je použit proporcionální ventil (elektronický ventil, rychleji zavírá), je třeba dodržet maximální hodnotu vody pod 100ppm. Pro nízké a střední tlaky je obecně doporučená hodnota 200ppm.

### Číslo kyselosti (TAN)

Číslo kyselosti TAN (Total Acid Number) vyjadřuje množství silně i slabě kyselých látek přítomných v oleji. Řídí se dle normy ČSN ISO 6618 Stanovení čísla kyselosti a čísla alkality.

Číslem kyselosti se rozumí množství KOH v miligramech, potřebné pro zneutralizování kyselých složek obsažených v jednom gramu oleje.

Zvýšená kyselost oleje má negativní následky na celý hydraulický systém. Přispívá ke stárnutí oleje, rozkladu aditiv, rozpouštění těsnění a vzniku koroze hydraulického systému. Z toho důvodu je důležité číslo kyselosti pravidelně analyzovat.

pH nového oleje je vždy neutrální, avšak určité množství kyselých látek se vyskytuje i v novém oleji. Tyto látky pocházejí z aditiv např. mazivostních přísad či antioxidantů. V oleji takové látky tolerujeme, kvůli jejich přidané hodnotě v jiném směru. Další kyselé látky už vznikají během provozu hydraulického oleje, a to zejména přirozenou oxidací uhlovodíků.



V následujícím textu bude pojednáno o metodě a principu stanovení čísla kyselosti (TAN).

V tribodiagnostické laboratoři Centrálního technického servisu ve společnosti Škoda Auto a.s. se používá metoda stanovení podle barevného indikátoru. Princip je následující. Do vzorku oleje rozpuštěného v neutrálním rozpouštědle je přidáván roztok hydroxidu draselného a sleduje se okamžik, kdy olej přestane vykazovat kyselé vlastnosti, a naopak převáží alkalické vlastnosti díky přidanému hydroxidu. Tento okamžik je možné detekovat různými způsoby. Například přidáním indikátoru, ten se rozpustí ve vzorku oleje a při přechodu z kyselého do alkalického prostředí indikátor změni barvu. Konec titrace je určován fotometricky, registrací barevné změny roztoku. Výsledkem analýzy je množství KOH v mikrogramech, které je po zadání hmotnosti navážky vyjádřeno jako číslo kyselosti v mg KOH/g oleje. Jiné metody stanovení čísla



Obr. 18 Coulometr KOH, Diram [13]

kyselosti TAN, využívají detekci některých elektrochemických vlastností oleje, nejčastěji jde o tzv. Coulometrickou titraci, kde dochází ke stanovení obsahu kyselých látek ze vzorku pomocí měření napětí elektrochemického článku.

Dle normy ČSN ISO 6618 je mezní hodnota TAN stanovena jako 1,5 mg KOH na 1g oleje. Avšak takovéto hodnoty se prakticky v provozech Škoda Auto a.s. nevyskytují. Běžné hodnoty čísla kyselosti se pohybují okolo následujících hodnot: 0,45 až 0,7 mg KOH/g.

### ***Celkové nečistoty*** [15], [22]

Jako další faktor kvality oleje se udává počet a velikost cizích částic přítomných v oleji. Tyto částice jsou obecně nazývané jako nečistoty. Nečistoty ve formě pevných látek jsou klasifikovány jako tvrdé nebo měkké. Tvrdé částice (prach, křemík, železo) mohou být příčinou mechanického opotřebení. Měkké částice (produkty oxidační degradace oleje) mohou tvořit kaly a sedimenty.

Zdrojů nečistot nalezených v oleji je více. Jedná se například o prachové částice z ovzduší, vlákna z filtrů, dále pak různé druhy částic uvolněných z povrchu třecích ploch, například ze zubového čerpadla. Nadměrný obsah nečistot v oleji vede ke zvýšenému opotřebení třecích povrchů, k tvorbě úsad a kalů hromadících se v celém olejovém systému. Výskyt cizích částic v oleji má také vliv na chemicko-fyzikální vlastnosti oleje a v konečném důsledku může dojít i k ucpání olejového filtru a tím k poruše dodávky oleje do systému. Proto je důležité tyto cizí látky v oleji monitorovat a odstraňovat.

Odstraňování cizích látek se provádí pomocí filtrace přes různé druhy filtrů. Obecně platí, že v případě nalezení zvýšeného množství cizích částic v oleji je potřeba přefiltrovat celý obsah olejového systému několikrát, z důvodu postupného snižování počtu přítomných cizích látek v oleji. Jednou z možných metod filtrace je použití plno průtokových filtrů. Ty jsou vyrobeny

z celulózy a slouží pro odstranění nečistot v řádu milimetrů až desítek mikrometrů. Další možností filtrace jsou obtokové, tzv. by-passové filtry. Ty jsou jemnější, také vyrobené z celulózy, a jsou schopny zachytit nečistoty o velikosti  $1\mu\text{m}$ . Kvůli své vysoké jemnosti a z toho vyplývajícímu vyššímu průtokovému odporu jsou používány jako obtokové. Další metodou filtrace je elektrostatického čištění, používané pro odstraňování produktů oxidace již v počáteční fázi.

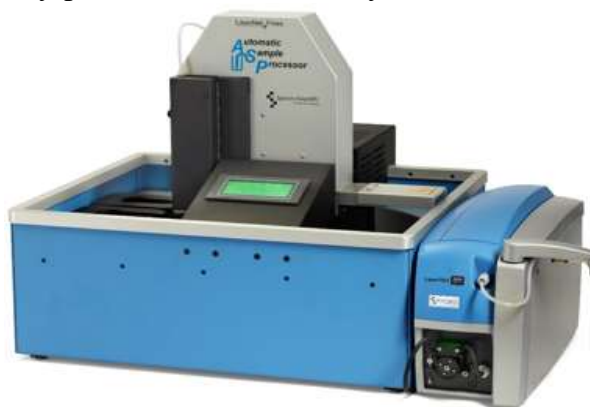
Pro detailní sledování cizích látek přítomných v oleji jsou ve Škoda Auto a.s. používány dvě metody hodnocení. První z metod je kód čistoty, ten se používá zejména pro měření množství a velikosti pevných částic. Druhá metoda je metoda MPC (Membrane Patch Colorimetry) používaná pro měření množství měkkých kalů. V následujícím textu budou obě postupně popsány.

### ***Kód čistoty***

První z metod je kódování úrovně znečištění pevnými částicemi dle normy ČSN ISO 4406. Kódem čistoty je vyjádřeno rozdělení velikosti a počtu pevných částic přítomných v oleji. Tento kód se udává ve tvaru X/Y/Z, kdy hodnotí počet částic ve třech úrovních velikosti. Pro analýzu automatickým počítačem částic se kód čistoty stanoví přiřazením prvního kódového čísla k celkovému počtu částic rovných nebo větších  $4\mu\text{m}$ , přiřazením druhého kódového čísla k celkovému počtu částic rovných nebo větších  $6\mu\text{m}$  a přiřazením třetího kódového čísla k celkovému počtu částic rovných nebo větších než  $14\mu\text{m}$ . Například 20/18/13.

Pro mikroskopické analýzy se používá „-“ namísto prvního kódového čísla a přiřadí se druhé a třetí kódové číslo na základě počtu částic  $5\mu\text{m}$  a  $15\mu\text{m}$ .

Pro stanovení kódu čistoty se používá automatický počítač částic, zobrazený na obr. 19. Dle principu funkce, existují dva druhy počítačů částic. První využívá bílé světlo, které je zastiňováno procházejícími částicemi při průchodu měřicí celou. Obraz je následně zvětšen a přenesen na detektor obrazu. Druhý princip je podobný, avšak namísto bílého světla využívá paprsek laseru, který procházející částice při průchodu měřicí celou rozptylují. Rozptýlený obraz je opět detekován na detektoru obrazu, kde dle míry rozptýlení dochází k vyhodnocení velikosti a druhu nečistoty. Tento druh přístrojů je považován za přesnější a citlivější. Princip a schéma tohoto přístroje



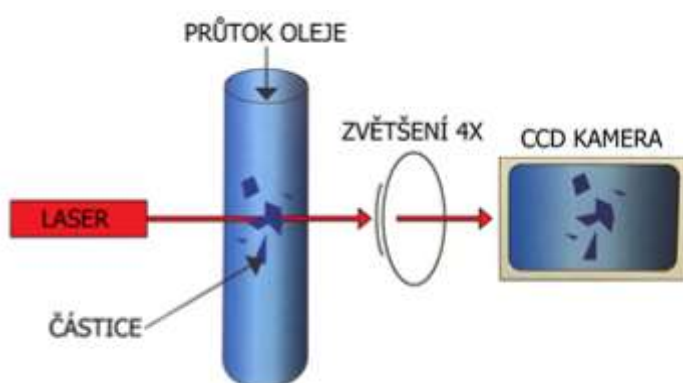
Obr. 19 Automatický počítač částic, LaserNet 230 [14]

je na obr. 20. Počítač nečistot je také schopný třídit částice od velikosti  $4\mu\text{m}$  do  $100\mu\text{m}$  do 7 tříd a to na: únavové opotřebení, lomové opotřebení, kluzné opotřebení, nekovové částice, vodní kapky, vzduchové bubliny a vlákna. Každou třídu je schopný samostatně vyhodnotit

a také graficky znázornit tvar nečistot. Celkový počet částic se zjišťuje statistickou metodou ze skutečného počtu zachycených částic na detektoru obrazu.

Dle výše zmiňované normy závisí mezní hodnota nečistot v oleji na velikosti tlaku a komponentech zařízení. Ve Škoda Auto a.s. je v souladu s výše uvedenou normou a dle vnitrofiremních předpisů mezní hodnota nečistoty v oleji stanovena na 18/16/13.

Vyjádření čistoty kapalin kódovým číslem je uvedeno v tabulce 3. V této tabulce je uveden maximální a minimální počet nečistot přítomných v 1ml vzorku oleje pro každé kódové číslo. Například kód čistoty 22/18/13 vyjadřuje, že v 1 ml vzorku kapaliny je více než 20 000 částic a maximálně 40 000 částic rovných nebo větších  $4\mu$ , více než 1 300 částic a maximálně 2 500 částic rovných nebo větších  $6\mu$  a více než 40 částic a maximálně 80 částic rovných nebo větších než  $14\mu$ .



Obr. 20 Princip vyhodnocování nečistot automatickým počítačem částic [14]



Tabulka 3 Přiřazení kódu čistoty [15]

počet částic v 1 ml vzorku		kódové číslo
více než	maximálně	
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,005	0,01	0

Druhou metodou používanou pro sledování přítomnosti cizích látek je metoda MPC, která vyhodnocuje přítomnost měkkých kalů.

### **Měření měkkých kalů**

Měkké kaly jsou produkty oxidačního stárnutí oleje. Vznikají degradací základového oleje a olejových přísad. Množství těchto kalů je potřeba sledovat, jelikož způsobují zhoršení chemicko-fyzikálních vlastností oleje z důvodu narušení mazacího filmu a dále pak zalepování hydraulického systému stroje. Strojní součásti, které mají největší vliv na vznik úsady, jsou ložiska, filtry a čerpadla.



Měření a hodnocení množství úsad (měkkých kalů) přítomných v oleji se provádí například pomocí kolorimetrie membrán MPC. Metoda MPC (Membrane Patch Colorimetry) [16] je analytická metoda sloužící pro sledování množství nerozpustných nečistot v oleji. Slouží k určení tzv. Varnish potenciálu oleje, jehož hodnota souvisí se sklonem oleje vytvářet těžko rozpustné úsady v systému.

V následujícím textu je popsán postup a princip měření pomocí kolorimetru, který je na obr. 21. Vzorek oleje o objemu 25 ml je v poměru 1:1 s lékařským benzínem přefiltrován pomocí podtlaku skrze laboratorní membránu s porozitou 0,45μm. Po přefiltrování oleje zůstávají měkké kaly a jiné nečistoty zachyceny na membráně (ultrafiltru). Vyhodnocení je provedeno přiložením kolorimetru k membráně, který měří intenzitu zbarvení membrány. Čím tmavší je zbarvení membrány, tím vyšší je znečištění oleje, naměřená hodnota  $\Delta E$  kolorimetrem, a tedy i potenciál k tvorbě úsad v olejovém systému. Krátkodobá odchylka měření je dle údajů výrobce 0,1  $\Delta E$ . Metoda se řídí normou ASTM D7843. Příklady znečištění ultrafiltrů i s hodnotami měření  $\Delta E$  jsou uvedeny na obr. 22.



Obr. 22 Vzorky filtrů a rozdělení skupin dle normy [17]

Podle naměřené hodnoty  $\Delta E$  lze výsledek měření rozdělit do jedné ze čtyř skupin.

1.  $\Delta E < 15$ : normální stav, pravidelné kontroly, pravděpodobnost tvorby úsad je nízká,
2.  $\Delta E = 15 \div 30$ : zhoršený stav, zvýšená pravděpodobnost tvorby úsad,
3.  $\Delta E = 30 \div 40$ : abnormální stav, pravděpodobnost tvorby úsad je vysoká, zvýšený obsah měkkého znečištění, je doporučena filtrace oleje
4.  $\Delta E > 40$ : kritický stav, vysoký obsah měkkého znečištění, je doporučena filtrace oleje.

Další metodou používanou pro analýzu oleje je infračervená spektroskopie. Kvůli mnoha informacím, které je o oleji schopná poskytnout je zřejmě nejdůležitější tribodiagnostickou analýzou vůbec. Je vhodná pro celkový přehled složení oleje, dále pro zjištění chemických změn nebo průniku různých znečišťujících látek, například vody, jiného oleje, či sazí do oleje (v případě motorových olejů).



Obr. 23 Infračervený spektrometr Nicolet iS10, Thermo Fisher [18]

### ***Infračervená spektroskopie FTIR***

Celým jménem se nazývá infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Konkrétní přístroj používaný v laboratoři Centrálního technického skladu Škoda Auto a.s. je na obr. 23. Jedná se o velmi efektivní metodu, používanou jak při kontrole kvality nových mazacích olejů, kdy je schopná potvrdit např. deklarovanou povahu maziva, tak při preventivní diagnostice stavu maziv. Díky specifickému FTIR spektru pro každý druh oleje, lze tuto metodu použít i k jednoduchému rozlišení mezi druhy maziv. To je zejména vhodného pro odhalení kontaminace provozovaného oleje jiným olejem, v případě, že každý z olejů má jinou chemickou povahu. V infračerveném spektru je dále možné detekovat provozní degradaci olejů, množství vody či sledovat úbytek antioxidantů.

Nyní bude popsán princip metody.

Vzorek oleje je ostřelován infračerveným zářením. Část infračerveného záření se pohltí ve vzorku a část záření projde vzorkem, kde je zachyceno detektorem. Zachycené záření je poté matematicky rozloženo na jednotlivé vlnové délky a každé vlnové délce je přiřazena určitá intenzita absorpce záření vzorkem. Intenzita signálu při určité vlnové délce je úměrná koncentraci příslušné složky. Tím vzniká infračervené spektrum oleje, které je zobrazeno na obr. 24. Vyhodnocování spekter se řídí dle normy ASTM E2412.

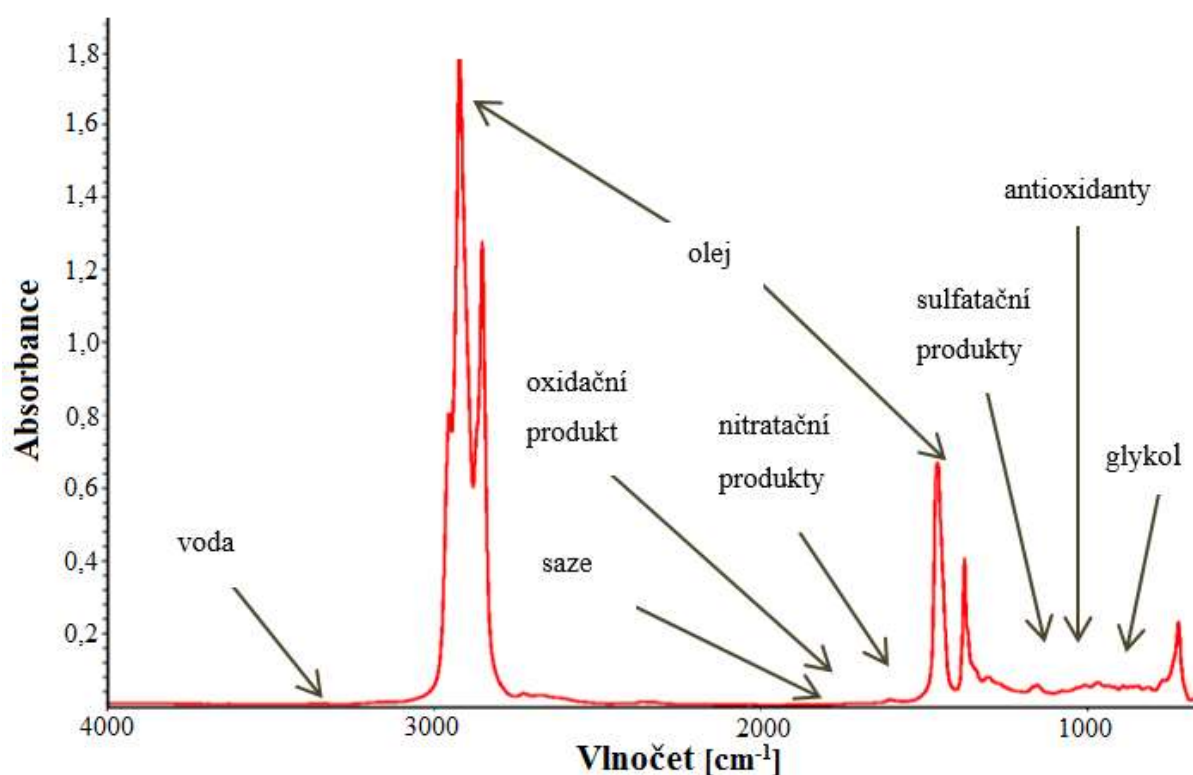
V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty vlnočtů detekující přítomnost složek obsažených v oleji. Na obr. 24 je uvedeno infračervené spektrum oleje HM 46. Na spektru jsou vidět jednotlivé

složky oleje, například na vlnočtu přibližně  $1000\text{ cm}^{-1}$  je vidět přítomnost antioxidantů v oleji a na vlnočtu přibližně  $2000\text{ cm}^{-1}$  přítomnost oxidačních produktů apod.

Tabulka 4 Hodnoty vlnočtů detekující přítomnost složek obsažených v oleji [12]

Vlnočet [ $\text{cm}^{-1}$ ]	Detekce
3500	voda
1820-1900	oxidační produkty
1630	nitridace oleje
1300-1000	kyslíkaté látky, oxidační produkty
970	antioxidační přísada

Zde můžeme vidět infračervené spektrum oleje HM 46, s popisem jednotlivých píků.



Obr. 24 IČ spektrum oleje HM 46 [12]

V dalším textu je rozebrána on-line tribodiagnostika. Tato diagnostika je ve firmě Škoda Auto a.s. v současné době právě zaváděna. V diplomové práci je proto důraz kladen i na skutečnosti s tímto spojené. Jedná se především o porovnání off-line a on-line diagnostiky. Uvedené se projeví v porovnání obou metod a ekonomickém zhodnocení.

#### 4.3.2 On-line tribodiagnostika

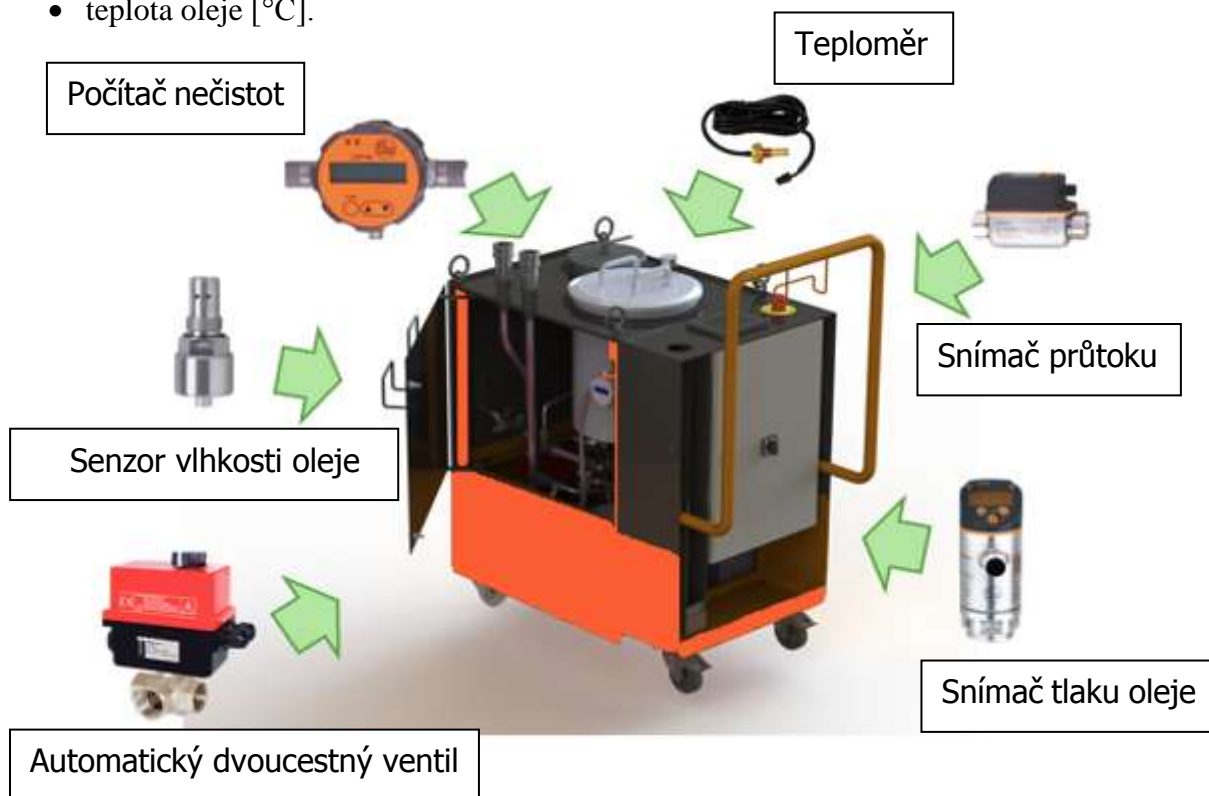
On-line tribodiagnostiku je obecně možno chápat dvojím způsobem. První možnost je schopnost nepřetržitě měřit aktuální stav veličiny, druhý způsob je schopnost přenosu naměřených dat k uživateli. On-line tribodiagnostika je obecně určena zejména pro nepřetržitý monitoring klíčových zařízení za jejich provozu, pro zajištění bezpečnosti, spolehlivosti a způsobilého provozu. Tento druh diagnostiky je vhodný zejména pro rozsáhlé provozy, decentralizované provozy, kde nabízí podstatnou úsporu času pracovníků údržby spojeného s logistickými přesuny z laboratoře k diagnostikovanému zařízení.

Na základě zvyšujících se požadavků lokálních údržeb ve společnosti Škoda Auto a.s., bylo navrženo řešení ve smyslu iniciativy Průmysl 4.0, a to implementace on-line filtrační jednotky, která by sama poskytovala informace o aktuálních hodnotách veličin právě filtrovaného oleje.

Spoluprací Centrálního technického servisu a společnosti Filtration Technology tedy byla vyvinuta a vyrobena on-line filtrační jednotka, která tyto požadavky splňuje. Popisovaná on-line filtrační jednotka je schopná sledovat aktuální parametry nečistot olejové náplně, konkrétně množství pevných částic a množství vody během filtrace. On-line filtrační jednotka i se znázorněním jednotlivých komponent je vidět na obr. 25. Optimální objem průtoku oleje on-line filtrační jednotky během filtrace je dle výrobce 11,2 l/min.

Filtrační on-line jednotka je schopná vyhodnocovat aktuální hodnoty veličin jako jsou:

- množství vody přítomné v oleji [ppm],
- množství pevných částic přítomných v oleji [číselný kód dle normy ISO 4406],
- výstupní tlak hydraulického oleje [Pa],
- objem průtoku [l/min],
- teplota oleje [°C].



Obr. 25 On-line filtrační jednotky s komponenty

Pro účely porovnání přesnosti měření off-line a on-line diagnostiky zde budou popsány senzory, které jsou součástí testované on-line filtrační jednotky a byly použity při experimentální části diplomové práce. Jedná se o měření množství nečistot a vody provedené on-line filtrační jednotkou.

*1) Senzor vlhkosti oleje (oil humidity sensor), označení LDH100*

Senzor je určen pro měření aktivity vody v nízko viskózních olejích. Pro určení absolutního obsahu vody je v bezprostřední blízkosti čidla vody umístěn snímač teploty PT100.

*Technické parametry senzoru LDH100*

Oblast použití: minerální oleje, syntetické estery, biologicky odbouratelné oleje, vzduch

Maximální tlak: 5MPa

Senzor vlhkosti oleje: kapacitní snímač s polymerním dielektrikem

Senzor teploty: Pt100

Rozsah aktivity vody: 0 až 100 %

Rozsah teploty: - 40 °C až +105 °C

Přesnost měření

Aktivita vody:  $\pm 3 \%$ , Teplota:  $\pm 2 \%$

*2) Optický senzor pro monitorování částic v oleji, označení LDP100*

Senzor je určen pro měření množství a velikosti pevných částic přítomných v oleji.

*Technické parametry senzoru LDP100*

Oblast nasazení: minerální oleje, esterové oleje, biologicky odbouratelné oleje

Maximální průtok: 50 až 400 ml/min

Maximální tlak: 42MPa

Rozsah teploty: -10 °C až +80 °C

Měřicí rozsah: 10 až 22 kódové číslo

Přesnost měření:  $\pm 1$  kódové číslo

Zařízení je z výroby nastaveno na časově řízené měření s měřicí periodou pro měření vlhkosti (vody) s periodou měření 1 sekundy. Měření pevných částic s periodou od 5 minut do 1 hodiny, dle požadavku obsluhy. Po spuštění zařízení začne optický počítač částic a sonda vlhkosti automaticky s měřicími cykly a výsledky se objeví na displeji vestavěné obrazovky. V současné době je řešení právě popisované, tedy nutnost manuálního odečtení hodnot z displeje. Je však možné, za určitých podmínek i použití dálkového odesílání dat. Což bude v rámci této diplomové práce doporučeno v kapitole 7.

## 5 PLÁN ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### 5.1 Plán

Realizace diplomové práce spočívá v rozboru údržby se zaměřením na údržbu prediktivní. Dle zadání je práce zaměřena na využití tribodiagnostiky v prediktivní údržbě, a to v konkrétní firemní praxi. Vychází se důsledně ze systémového rozboru výše uvedeného. Důraz je kladen na objasnění základů tribologie, tribotechnické diagnostiky, mechanismu a druhu opotřebení. Je také zmínka o mazivech a diagnostických prostředcích.

Vychází se ze skutečnosti, která je řešena ve společnosti Škoda Auto a.s. V této firmě se doposud v rámci tribodiagnostiky používala metoda off-line. V poslední době se buduje tribodiagnostika s nasazením on-line diagnostických prostředků. Hlavním úkolem diplomové práce je právě porovnání obou metod, což bude hlavní přínos této diplomové práce pro společnost Škoda Auto a.s. Dalším požadavkem ze strany společnosti Škoda Auto a.s. je prověření funkčnosti zakoupené on-line filtrační jednotky.

### 5.2 Experimentální část práce

Po dobu nezbytně nutnou pro provedení kvalitní filtrace, byly odebírány a vyhodnocovány vzorky olejů pomocí dvou metod tribodiagnostiky. Jednou z nich byla běžně používaná off-line diagnostika a druhou nově zakoupená on-line diagnostika, konkrétně on-line filtrační jednotka schopná diagnostiky určitých parametrů oleje. Vzorky oleje HM 46 byly odebírány vždy jednou za den. Hodnoty naměřené oběma způsoby byly zaznamenány do tabulek a grafů a následně porovnány v kapitole 6. Dále byl požadavek ze strany Škoda Auto a.s. na zjištění doby potřebné pro filtrace oleje jednotlivých zařízení.

Vzorky oleje byly odebírány a hodnoceny celkem ze dvou různých výrobních zařízení. Jednalo se o tato výrobní zařízení:

- 1) hydraulický lis (obr. 26) s objemem nádrže hydraulického oleje na 11 000 l
- 2) obráběcí centrum (obr. 27) s objemem nádrže hydraulického oleje na 300 l

Nad každým obrázkem je krátký popis vlastního zařízení.

V diplomové práci se sledovaly vybrané parametry oleje (nečistoty).

Sledované nečistoty v oleji jsou:

- a) množství pevných částic hodnocené kódem čistoty [ve tvaru X/Y/Z] dle ISO 4406
- b) množství vody [ppm] dle ČSN ISO 760

#### Hydraulický lis s objemem nádrže hydraulického oleje na 11 000 l

- hydraulický lis 20 000 tun
- četnost filtrace 1/rok
- určený pro zkušební výrobu prototypů bočnic automobilů
- doba filtrace 21 dní





Obr. 26 Hydraulický lis, Dieffenbacher (ilustrativní obrázek)

Obráběcí centrum s objemem nádrže hydraulického oleje na 300 l

- obráběcí centrum Grob
- četnost filtrace 1/rok
- obrábění rovinných ploch odlitků skříní spalovacích motorů
- doba filtrace 8 dní



Obr. 27 Univerzální obráběcí centrum, Grob G520 [19]

Jak již bylo uvedeno dříve v této kapitole, v experimentu se jednalo o vyhodnocení off-line a on-line tribodiagnostiky. V následujícím textu bude nejprve popsána off-line tribodiagnostika. Prvně měření a vyhodnocení množství nečistot a poté měření a vyhodnocení množství vody.



### 5.2.1 Off-line tribodiagnostika

#### Postup tribodiagnostiky

Vzorek hydraulického oleje byl odebrán a převezen do tribodiagnostické laboratoře k vyhodnocení množství sledovaných přítomných nečistot.

#### 1) Hydraulický lis s objemem nádrže hydraulického oleje na 11 000 l

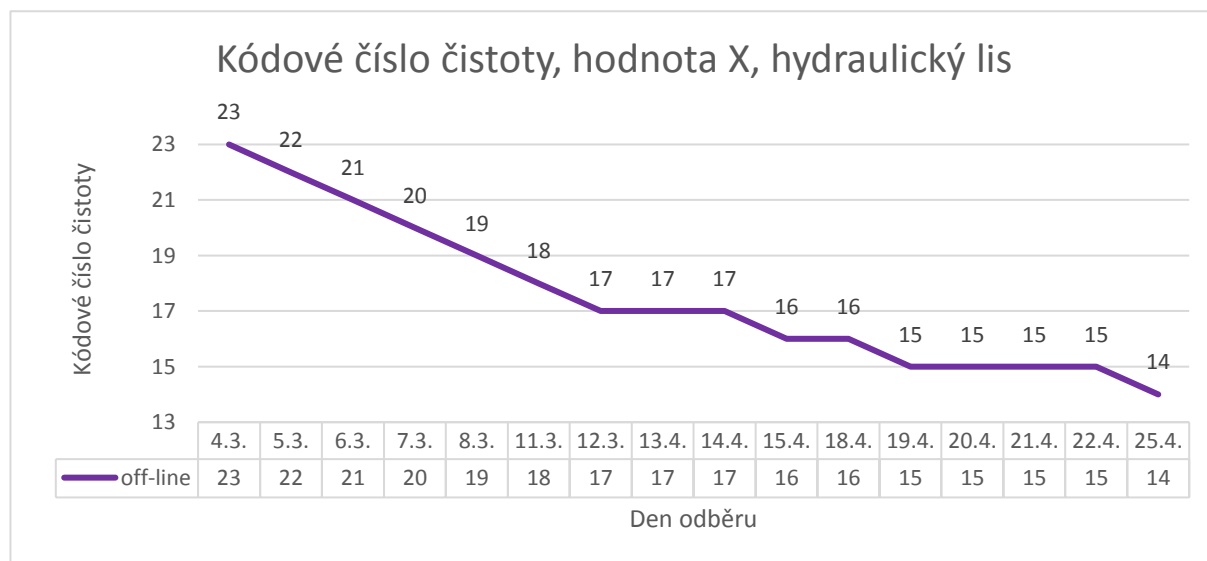
Naměřené hodnoty veličin jsou pro lepší přehlednost ve formě tabulek a obrázků grafů. Hodnoty měřených parametrů oleje z hydraulického lisu jsou uvedeny fialovou barvou.

Tabulka 5 Hodnoty parametrů oleje z hydraulického lisu

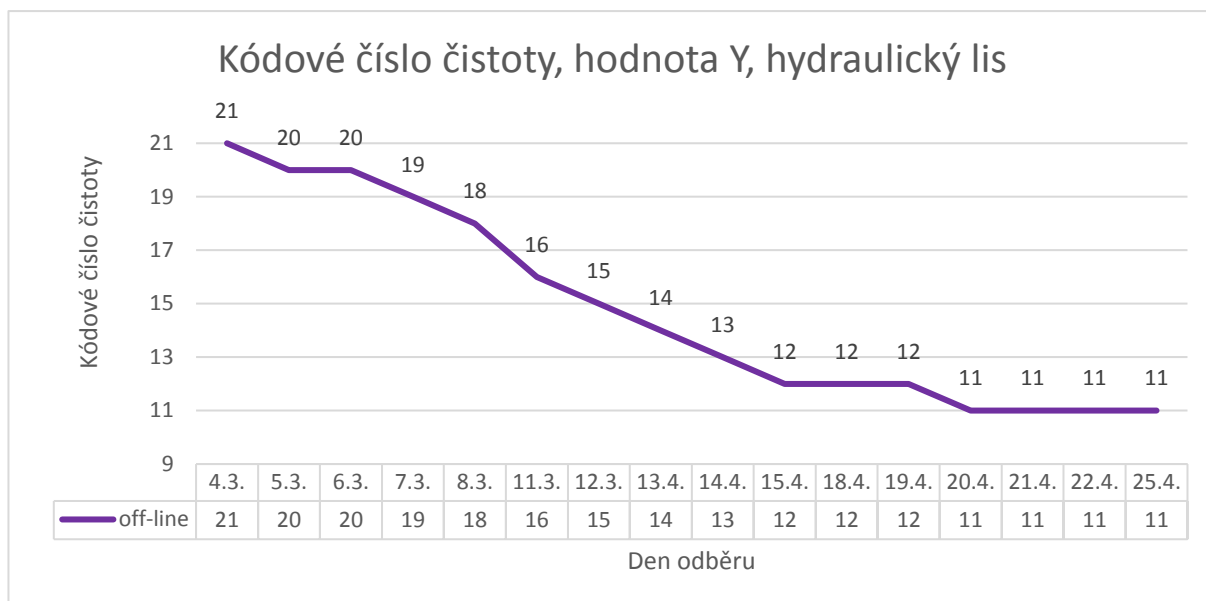
Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Kódové číslo čistoty dle [ISO 4406]	Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Kódové číslo čistoty dle [ISO 4406]
4.3.	158	23/21/17	14.4.	79	17/13/11
5.3.	142	22/20/16	15.4.	74	16/12/11
6.3.	130	21/20/15	18.4.	64	16/12/10
7.3.	123	20/19/14	19.4.	62	15/12/10
8.3.	116	19/18/13	20.4.	60	15/11/10
11.3.	96	18/16/13	21.4.	58	15/11/9
12.3.	89	17/15/13	22.4.	57	15/11/9
13.4.	85	17/14/12	25.4.	55	14/11/9

#### a) Vyhodnocení množství nečistot

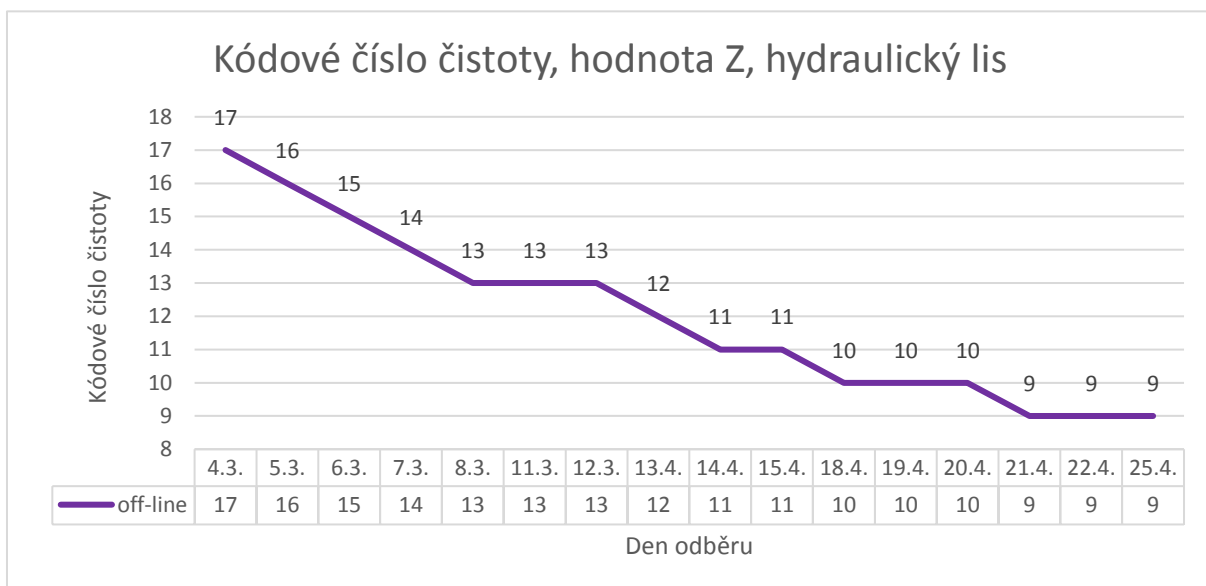
Kód čistoty ve tvaru X/Y/Z byl pro lepší přehlednost separován do 3 samostatných obrázků (obr. 28, obr. 29 a obr. 30). Postupně zde budou uvedeny v následujícím pořadí, nejprve hodnota X, poté Y a na konec Z. Jen pro připomenutí, hodnota X kódu čistoty vyjadřuje množství pevných částic o maximální velikosti 4μm, hodnota Y vyjadřuje množství pevných částic o maximální velikosti 10μm a hodnota Z vyjadřuje množství pevných částic o maximální velikosti 14μm. Hodnocení úrovně množství nečistot přítomných v 1 ml oleje vyjadřuje kódové číslo v tabulka 3.



Obr. 28 Kódové číslo čistoty, hodnota X, hydraulický lis



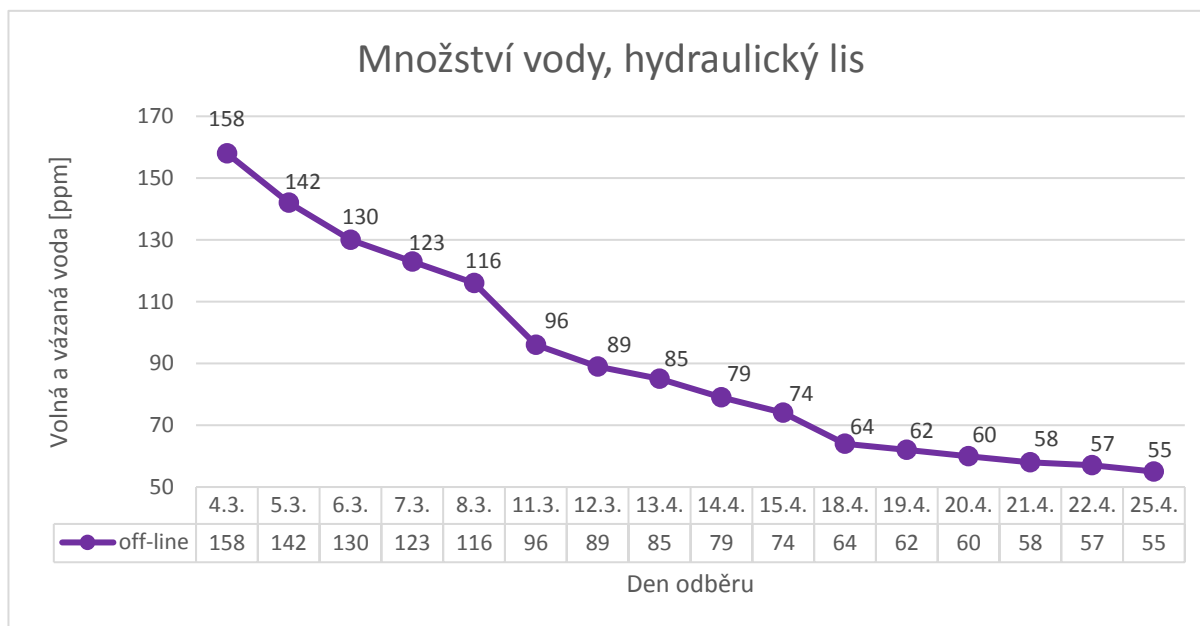
Obr. 29 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, hydraulický lis



Obr. 30 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, hydraulický lis

Následující obrázek vyjadřuje množství přítomné vody v hydraulickém oleji v celém průběhu filtrace.

b) *Vyhodnocení množství volné a vázané vody (obr. 31)*



Obr. 31 Množství vody, hydraulický lis

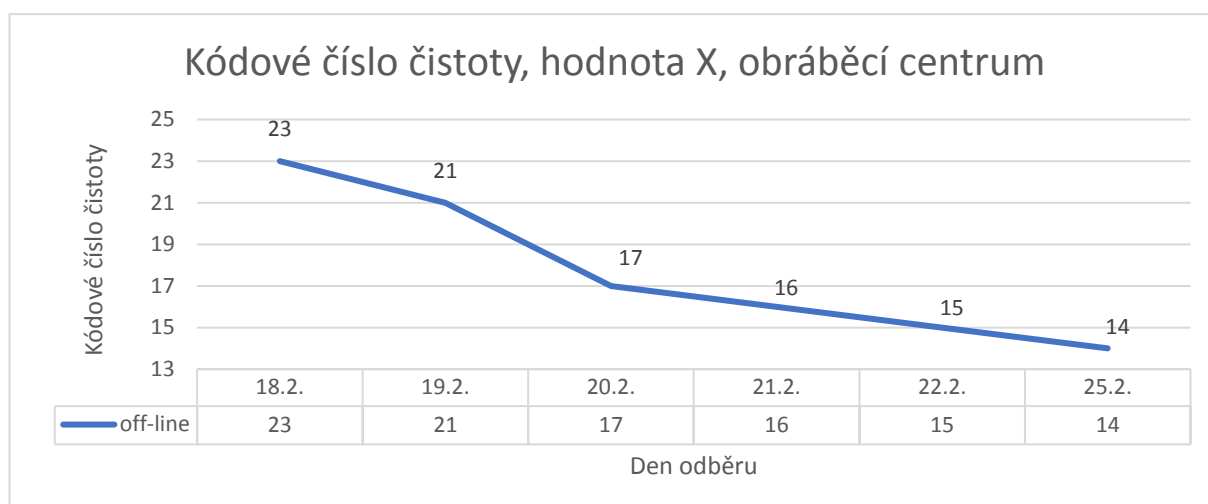
2) *Obráběcí centrum s objemem nádrže hydraulického oleje na 300 l*

Opět budou nejprve uvedeny obrázky grafů kódu nečistot v pořadí X, Y, Z a poté množství vody. Hodnoty měřených parametrů oleje z obráběcího centra jsou uvedeny modrou barvou.

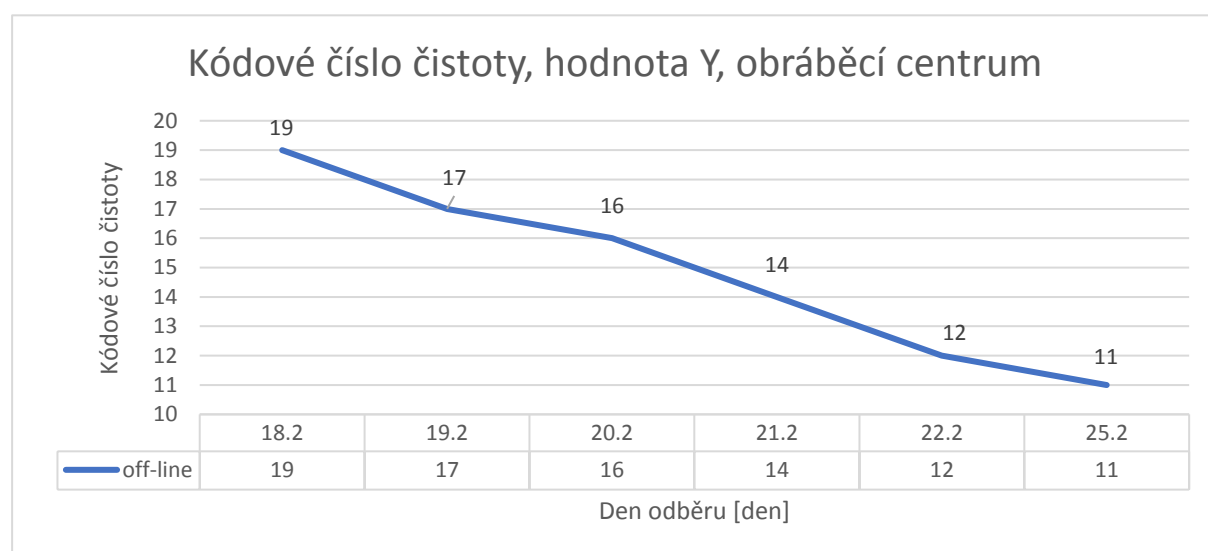
Tabulka 6 Hodnoty parametrů oleje z obráběcího centra

Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Kódové číslo čistoty dle [ISO 4406]
18.2	159	23/19/15
19.2	135	21/17/14
20.2	117	17/16/11
21.2	95	16/14/9
22.2	79	15/12/8
25.2	58	14/11/7

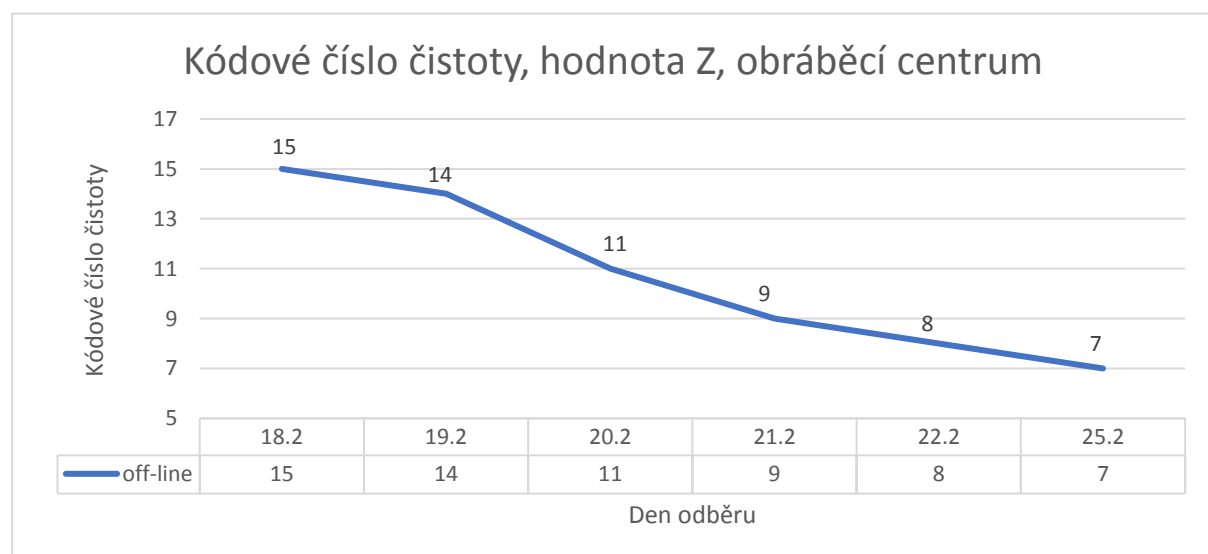
a) *Vyhodnocení množství nečistot*



Obr. 32 Kódové číslo čistoty, hodnota X, obráběcí centrum

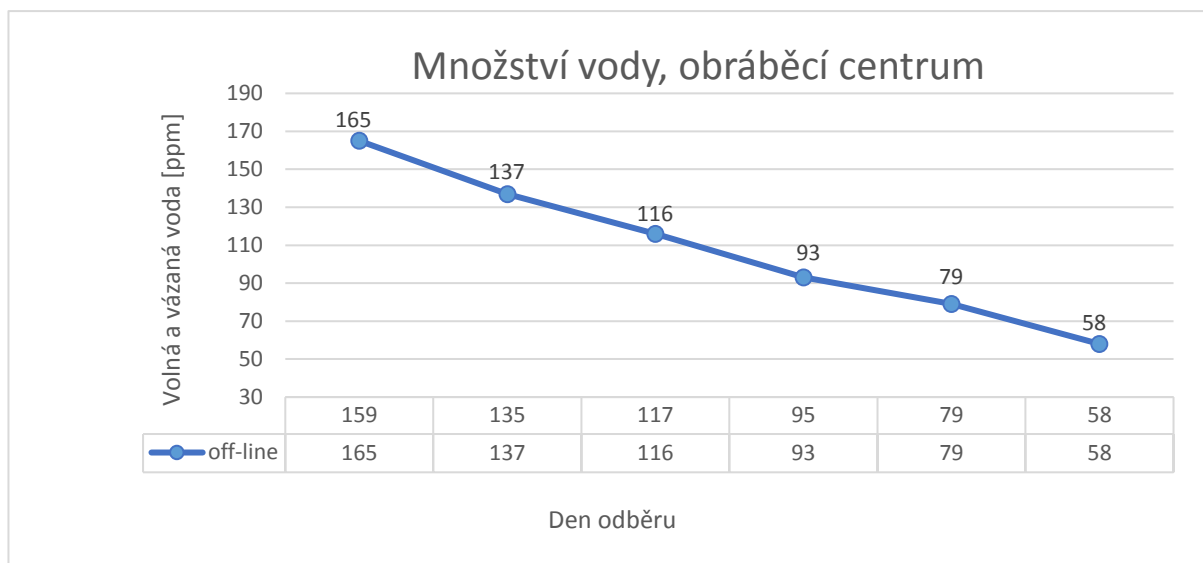


Obr. 33 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, obráběcí centrum



Obr. 34 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, obráběcí centrum

b) *Vyhodnocení množství volné a vázané vody (obr. 35)*



Obr. 35 Množství vody, hydraulický lis

V následujícím textu budou statisticky vyhodnoceny a ověřeny výsledky měření off-line diagnostických prostředků. Nejprve určení kódu čistoty a poté měření množství vody.

### Statistické vyhodnocení přesnosti měření off-line

Z důvodu požadavku na statistické vyhodnocení přesnosti měření, avšak nemožnosti opětovného změření odebraných vzorků, bylo přistoupeno k měření množství nečistot a vody u jiných vzorků olejů. Pro každý parametr měření (kódové číslo čistoty X, Y, Z a množství vody). Z pomocných měření byla vypočtena směrodatná odchylka a tato směrodatná odchylka byla použita pro výpočet intervalových odhadů v původně měřených vzorcích oleje během samotného experimentu. Přičemž jediná naměřená hodnota z experimentu byla použita jako střední hodnota. Tento postup byl zvolen z důvodu potřeby určení přesnosti výsledku při odběru právě jednoho vzorku oleje. Pro běžné potřeby tribodiagnostiky je postup odběru pouze jednoho vzorku standardně dostačující (například i z důvodu ceny odběru a vyhodnocení vzorku), avšak výpočet statistické chyby měření je právě jedním z přínosů této diplomové práce.

Následující data byla zpracována pomocí statistického softwaru Minitab a Microsoft Excel, postup výpočtu ze softwaru Minitab je umístěn v příloze.

#### Měření množství nečistot v oleji.

V tabulce 7 jsou zaznamenány výsledky měření stejných veličin jako v samotném experimentu, konkrétně množství nečistot (pevných částic) přítomných ve vzorku oleje, reprezentovaných kódem čistoty oleje. Jedná se o 6 různých vzorků hydraulického oleje, stejné třídy oleje (HM46), které byly měřeny a vyhodnoceny během samotného experimentu. Každý z olejů byl změřen vždy pětkrát. Vzorky olejů byly pojmenovány A až F. Výsledky měření jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Pomocné vzorky olejů, kódové číslo čistoty X, Y, Z dle [ISO 4406] (6 vzorků)

Olej	X	Y	Z
A	17	15	7
A	18	16	10
A	17	16	7
A	17	15	8
A	17	15	9

Olej	X	Y	Z
B	15	12	7
B	16	14	7
B	16	14	7
B	16	14	8
B	15	12	9

Olej	X	Y	Z
C	19	17	9
C	19	15	8
C	19	15	10
C	19	16	9
C	20	17	9

Olej	X	Y	Z
D	15	14	8
D	15	13	9
D	15	14	8
D	15	13	10
D	15	13	7

Olej	X	Y	Z
E	15	14	10
E	16	14	7
E	16	15	11
E	16	13	10
E	14	12	7

Olej	X	Y	Z
F	15	13	9
F	15	12	7
F	15	13	7
F	15	11	7
F	16	14	7

Z provedených měření byla spočtena postupně směrodatná odchylka pro kód čistoty X, Y a Z. Směrodatná odchylka byla spočtena jako odmocnina průměrného rozptylu z měření vzorků olejů A až F, pomocí následujícího vzorce:

$$S_{MTB} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Z toho tedy víme že:

Směrodatná odchylka pro nečistoty číslo X = 0,532

Směrodatná odchylka pro nečistoty číslo Y = 0,948

Směrodatná odchylka pro nečistoty číslo Z = 1,197

Tyto směrodatné odchylky byly použity pro další výpočty hodnoty X, Y, Z u olejů z experimentální části.

V následující části diplomové práce bude určen intervalový odhad pro střední hodnotu se spolehlivostí 95 %.

Intervalový odhad střední hodnoty  $\mu$  se spolehlivostí  $1 - \alpha$  je zapsán:

$$\left( \bar{x} - t_{1-\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{1-\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} \right),$$

Tzn. střední hodnota (v našem případě jediná naměřená hodnota)  $\pm$  variabilita daná následujícím vztahem, kde  $t_{1-\alpha/2}$  je kvantil Studentova rozdělení S(k) s  $k = n - 1$  stupni volnosti. Kvantily použitého, v našem případě normálního rozdělení, jsou uvedeny

v tabulce 8, která je k dispozici v plném rozsahu na internetové stránce Ústavu matematického inženýrství Vysokého učení technického.

Tabulka 8 statistická tabulka T2, kvantily tP Studentova rozdělení S(k) [24]

$k \backslash P$	0,95	0,975	0,99	0,995	0,999	0,9995
1	6,314	12,706	31,821	63,656	318,289	636,578
2	2,920	4,303	6,965	9,925	22,328	31,600
3	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924
4	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	5,894	6,869
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408
8	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587

V našem případě je  $t_{0,975}(k = n - 1) = t_{0,975}(k = 4) = 2,776$

Tímto způsobem budou vypočteny všechny intervalové odhady pro kód čistoty (X, Y, Z) i množství vody u obou diagnostikovaných zařízení.

Po dosazení hodnot je intervalový odhad zapsán následovně:

$$\left( 23 - 2,776 \frac{0,532}{\sqrt{5}}; 23 + 2,776 \frac{0,532}{\sqrt{5}} \right),$$

Z toho tedy víme že:

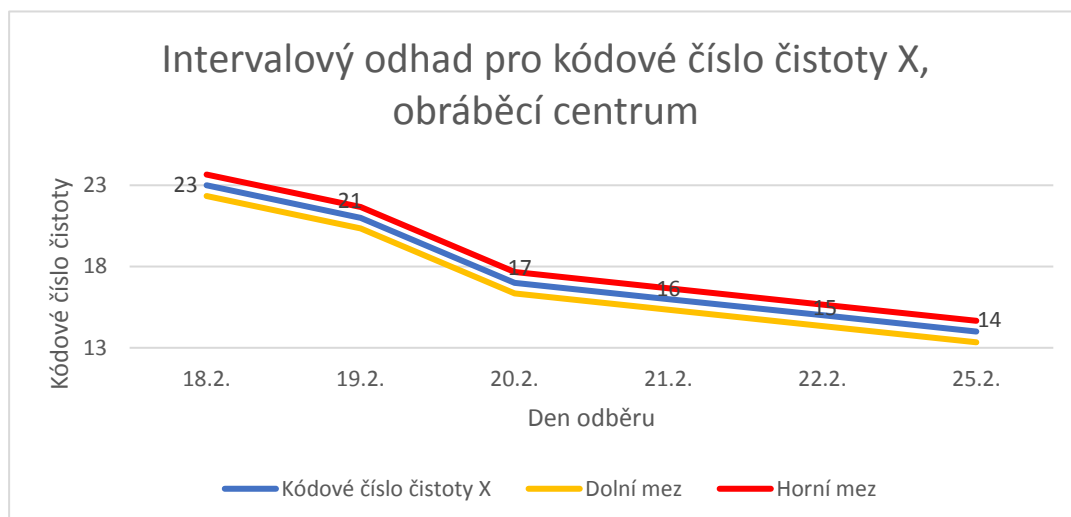
Pro hodnotu X rovnající se hodnotě 23 je dolní mez rovna 22,34, po zaokrouhlení 22.

Pro hodnotu X rovnající se hodnotě 23 je horní mez rovna 23,66, po zaokrouhlení 24.

Stejným způsobem byly vypočteny a zaokrouhleny hodnoty mezí i u zbytku tabulky.

Tabulka 9 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, obráběcí centrum

Den odběru	Kódové číslo čistoty X dle [ISO 4406]	Dolní mez	Horní mez
18.2.	23	22	24
19.2.	21	20	22
20.2.	17	16	18
21.2.	16	15	17
22.2.	15	14	16
25.2.	14	13	15

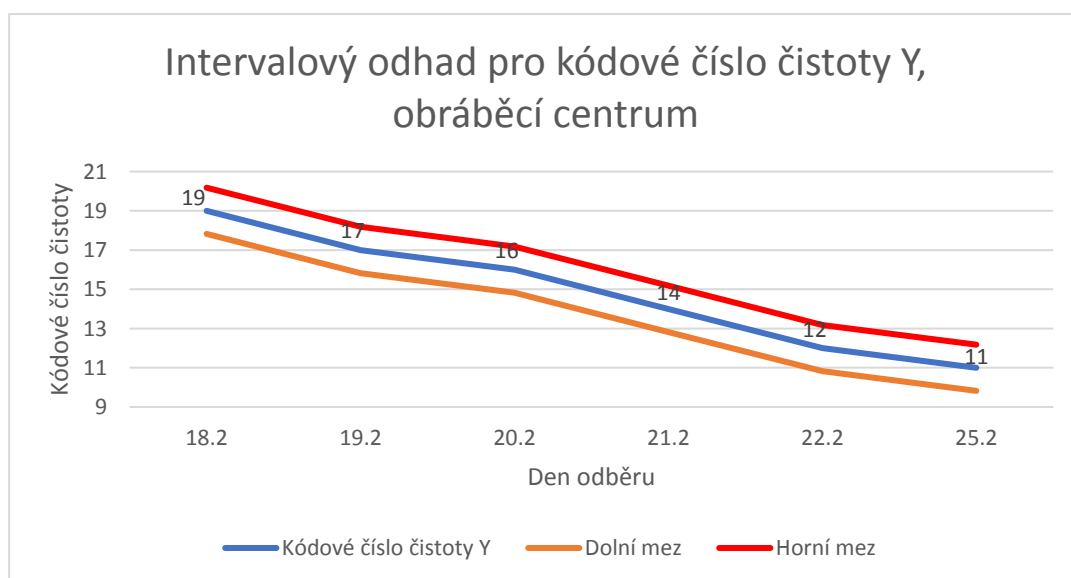


Obr. 36 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, obráběcí centrum

Pro hodnotu Y rovnající se hodnotě 19 je dolní mez rovna 17,82, po zaokrouhlení 18. Pro hodnotu Y rovnající se hodnotě 19 je horní mez rovna 20,18, po zaokrouhlení 20. Stejným způsobem byly vypočteny a zaokrouhleny hodnoty mezí i u zbytku tabulky.

Tabulka 10 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, obráběcí centrum

Den odběru	Kódové číslo čistoty Y dle [ISO 4406]	Dolní mez	Horní mez
18.2	19	18	20
19.2	17	16	18
20.2	16	15	17
21.2	14	13	15
22.2	12	11	13
25.2	11	10	12



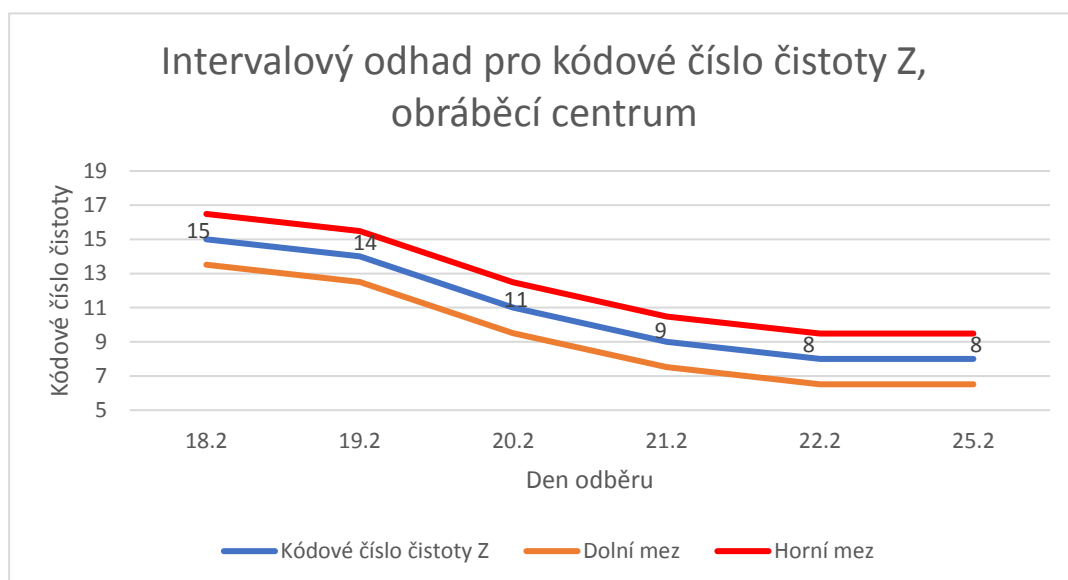
Obr. 37 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, obráběcí centrum



Pro hodnotu Z rovnající se hodnotě 15 je dolní mez rovna 13,51, po zaokrouhlení 14.  
 Pro hodnotu Z rovnající se hodnotě 15 je horní mez rovna 16,49, po zaokrouhlení 16.  
 Stejným způsobem byly vypočteny a zaokrouhleny hodnoty mezí i u zbytku tabulky.

Tabulka 11 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, obráběcí centrum

Den odběru	Kódové číslo čistoty Z dle [ISO 4406]	Dolní mez	Horní mez
18.2	15	14	16
19.2	14	13	15
20.2	11	10	12
21.2	9	8	10
22.2	8	7	9
25.2	7	6	8



Obr. 38 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, obráběcí centrum

V následujícím textu jsou uvedeny obrázky grafů zobrazující intervalové odhady pro kódové číslo čistoty X, Y a Z u hydraulického lisu.

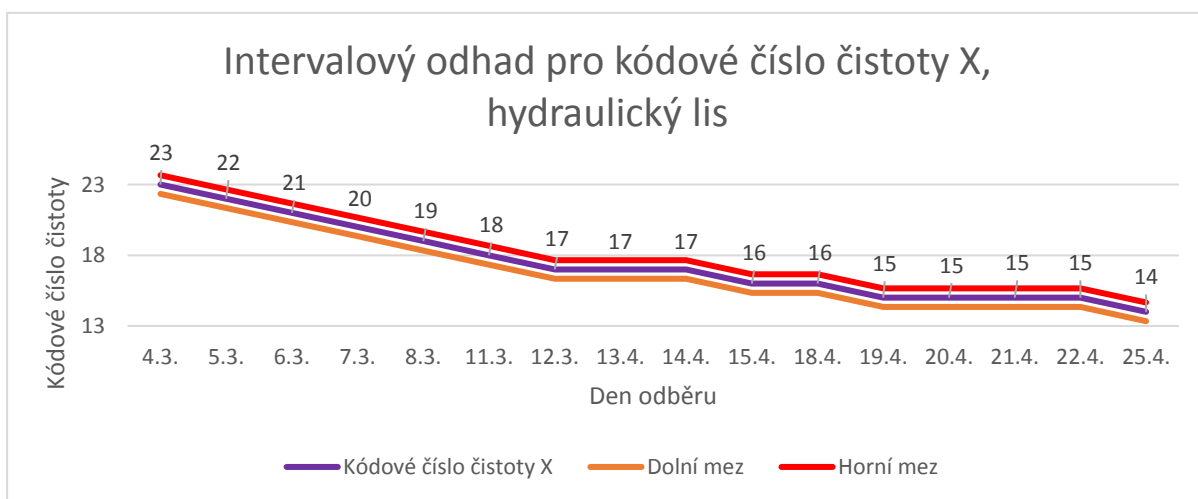
Pro hodnotu X rovnající se hodnotě 23 je dolní mez rovna 22,34, po zaokrouhlení 22.

Pro hodnotu X rovnající se hodnotě 23 je horní mez rovna 23,66, po zaokrouhlení 24.

Stejným způsobem byly vypočteny a zaokrouhleny hodnoty mezí i u zbytku tabulky.

Tabulka 12 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, hydraulický lis

Den odběru	Kódové číslo čistoty X dle [ISO 4406]	Dolní mez	Horní mez
4.3.	23	22	24
5.3.	22	21	23
6.3.	21	20	22
7.3.	20	19	21
8.3.	19	18	20
11.3.	18	17	19
12.3.	17	16	18
13.4.	17	16	18
14.4.	17	16	18
15.4.	16	15	17
18.4.	16	15	17
19.4.	15	14	16
20.4.	15	14	16
21.4.	15	14	16
22.4.	15	14	16
25.4.	14	13	15

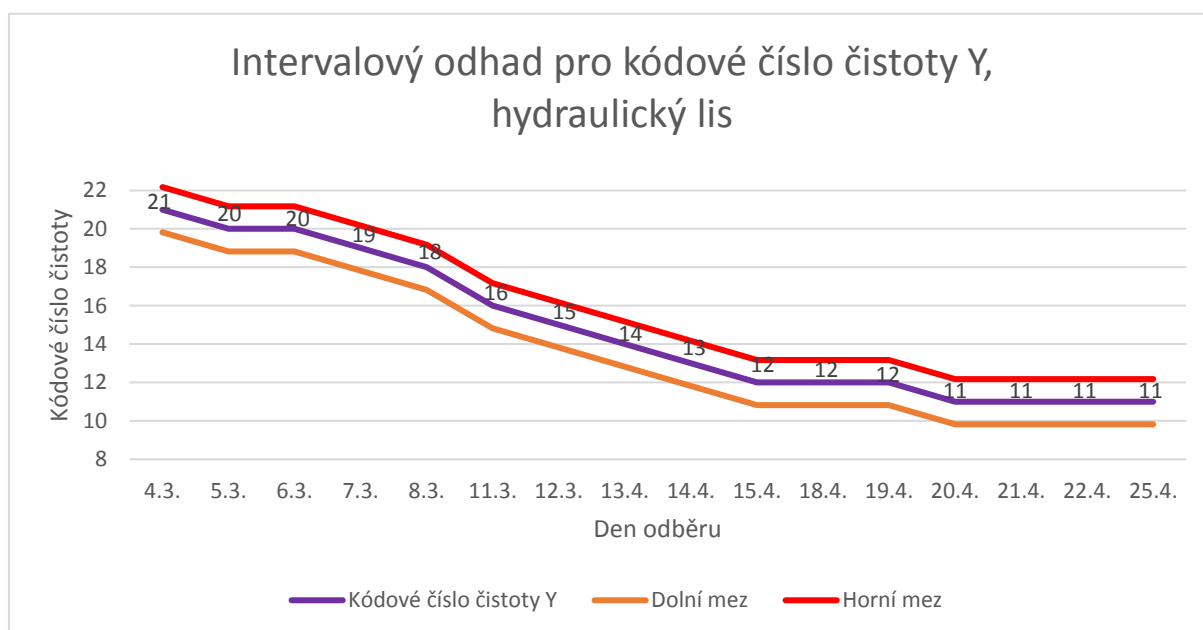


Obr. 39 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, hydraulický lis

Pro hodnotu Y rovnající se hodnotě 21 je dolní mez rovna 19,82, po zaokrouhlení 20.  
Pro hodnotu Y rovnající se hodnotě 21 je horní mez rovna 22,18, po zaokrouhlení 22.  
Stejným způsobem byly vypočteny a zaokrouhleny hodnoty mezí i u zbytku tabulky.

Tabulka 13 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, hydraulický lis

Den odběru	Kódové číslo čistoty Y dle [ISO 4406]	Dolní mez	Horní mez
4.3.	21	20	22
5.3.	20	19	21
6.3.	20	19	21
7.3.	19	18	20
8.3.	18	17	19
11.3.	16	15	17
12.3.	15	14	16
13.4.	14	13	15
14.4.	13	12	14
15.4.	12	11	13
18.4.	12	11	13
19.4.	12	11	13
20.4.	11	10	12
21.4.	11	10	12
22.4.	11	10	12
25.4.	11	10	12

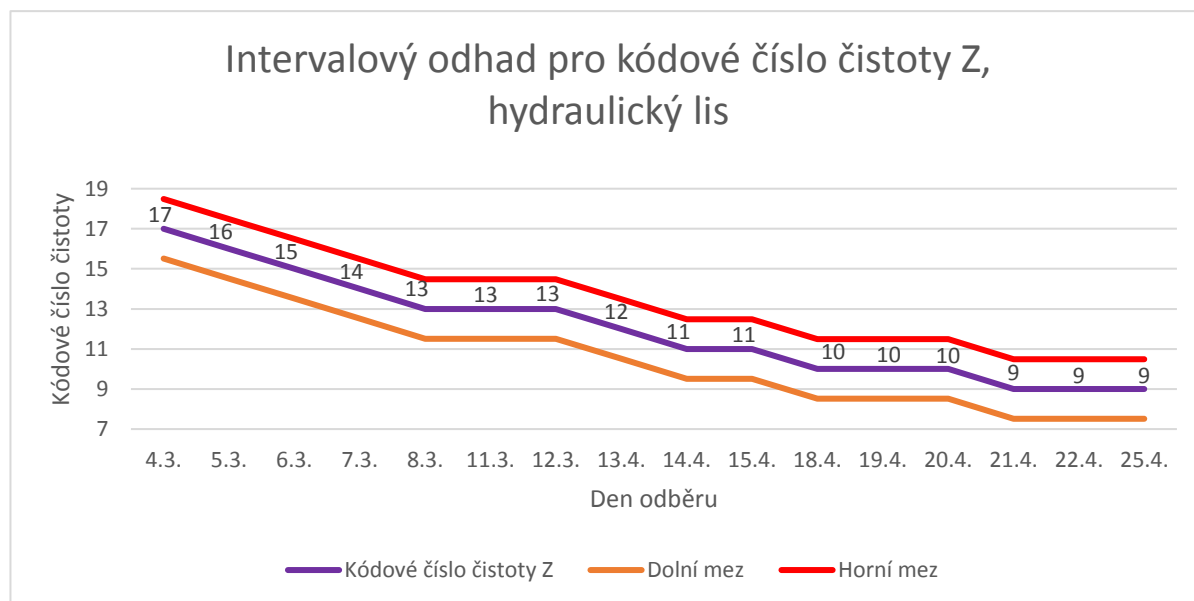


Obr. 40 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, hydraulický lis

Pro hodnotu Z rovnající se hodnotě 17 je dolní mez rovna 15,51, po zaokrouhlení 16.  
Pro hodnotu Z rovnající se hodnotě 17 je horní mez rovna 18,49, po zaokrouhlení 18.  
Stejným způsobem byly vypočteny a zaokrouhleny hodnoty mezí i u zbytku tabulky.

Tabulka 14 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, hydraulický lis

Den odběru	Kódové číslo čistoty Z dle [ISO 4406]	Dolní mez	Horní mez
4.3.	17	16	18
5.3.	16	15	17
6.3.	15	14	16
7.3.	14	13	15
8.3.	13	12	14
11.3.	13	12	14
12.3.	13	12	14
13.4.	12	11	13
14.4.	11	10	12
15.4.	11	10	12
18.4.	10	9	11
19.4.	10	9	11
20.4.	10	9	11
21.4.	9	8	10
22.4.	9	8	10
25.4.	9	8	10



Obr. 41 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, hydraulický lis

### ***Vyhodnocení přesnost měření kódu čistoty.***

Bylo zjištěno, že pro hodnoty nečistot (pevných částic) X, Y, Z nezamítám na hladině významnosti 5 % hypotézu o rovnosti rozptylu. Střední hodnoty jsou sice různé, ale rozptyly hodnot jsou stejné. Z toho vyplývá, že průměrný rozptyl, potažmo směrodatná odchylka má smysl (ve všech třech parametrech měření je rozptyl stejný a použití průměrného rozptylu je v pořádku). Statisticky bylo tedy ověřeno, že při měření každého jednoho vzorku byla statistická chyba měření stejná (velmi podobná), pouze různá v X, Y a Z.

Ze změřených vzorků A až F z tabulky 5 vyplývá, že: směrodatné odchylky jsou pro každou hodnotu kódu čistoty (X, Y, Z) různé. Hodnota směrodatné odchylky pro X je rovna 0,532, pro Y je rovna 0,948 a pro Z je rovna 1,197. Můžeme tedy říci, že: kód čistoty, konkrétně hodnotu X je přístroj schopný změřit s velice dobrou opakovatelností, je tedy malá variabilita a přesnost měření je vysoká. Hodnotu Y je přístroj schopný měřit s větší nepřesností než hodnotu X, opakovatelnost měření je horší, variabilita měření je vyšší a přesnost měření je tedy horší než u hodnoty X. Hodnotu Z je přístroj schopný měřit s nejmenší přesností. Opakovatelnost je oproti hodnotám X a Y relativně špatná (směrodatná odchylka je více než dvakrát větší než u hodnoty X), variabilita je vysoká a přesnost měření je tedy oproti přesnosti měření hodnot X a Y relativně nízká.

I přesto však bylo zjištěno, že z důvodu šířky intervalového odhadu a jejího zaokrouhlení (které má významný vliv na šířku mezí) všechny hodnoty čistoty X, Y i Z spadají do intervalu přesnosti  $\pm 1$  třída kódového čísla čistoty, kterou uvádí výrobce měřicího zařízení. Měření je tedy v toleranci udávané výrobcem měřicího zařízení pro všechny tři měřené velikosti kódu čistoty.

*Nyní bude staticky vyhodnocena přesnost měření množství vody.*

### Měření množství vody

V následující textu jsou zaznamenány výsledky měření množství volné a vázané vody v oleji. Jedná se o 6 různých vzorků hydraulického oleje, stejné olejové třídy (HM46), které byly měřeny a vyhodnoceny během samotného experimentu. Každý z olejů byl změřen vždy pětkrát. Vzorky olejů byly pojmenovány 1 až 6. Výsledky jsou souhrnně uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 Pomocné vzorky olejů, množství volné a vázané vody (6 vzorků)

Olej č.	množství volné a vázané vody [ppm]
1	45
1	51
1	43
1	35
1	42

Olej č.	množství volné a vázané vody [ppm]
2	50
2	56
2	47
2	49
2	53

Olej č.	množství volné a vázané vody [ppm]
3	62
3	69
3	55
3	58
3	53

Olej č.	množství volné a vázané vody [ppm]
4	47
4	36
4	43
4	50
4	42

Olej č.	množství volné a vázané vody [ppm]
5	55
5	47
5	54
5	59
5	46

Olej č.	množství volné a vázané vody [ppm]
6	66
6	72
6	61
6	70
6	65

Z provedených měření byla spočtena směrodatná odchylka množství volné a vázané vody. Směrodatná odchylka byla spočtena opět jako odmocnina průměrného rozptylu z měření vzorků olejů 1 až 6, pomocí následujícího vzorce:

$$S_{\text{voda}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 9,75$$

Tato směrodatná odchylka byla použita pro výpočet intervalového odhadu střední hodnoty  $\mu$  množství vody u olejů z experimentální části.

Intervalový odhad pro střední hodnotu je proveden se spolehlivostí 95 %.

Intervalový odhad střední hodnoty  $\mu$  se spolehlivostí  $1 - \alpha$  je zapsán:

$$\left( \bar{x} - t_{1-\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{1-\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}} \right),$$

Kvantil  $t_p$  Studentova rozdělení  $S(k)$  uvedený v tabulce 8 je z důvodu 5 měření každého vzorku stejný jako u vyhodnocování nečistot, tedy:

$$t_{0,975}(k = n - 1) = t_{0,975}(k = 4) = 2,776$$

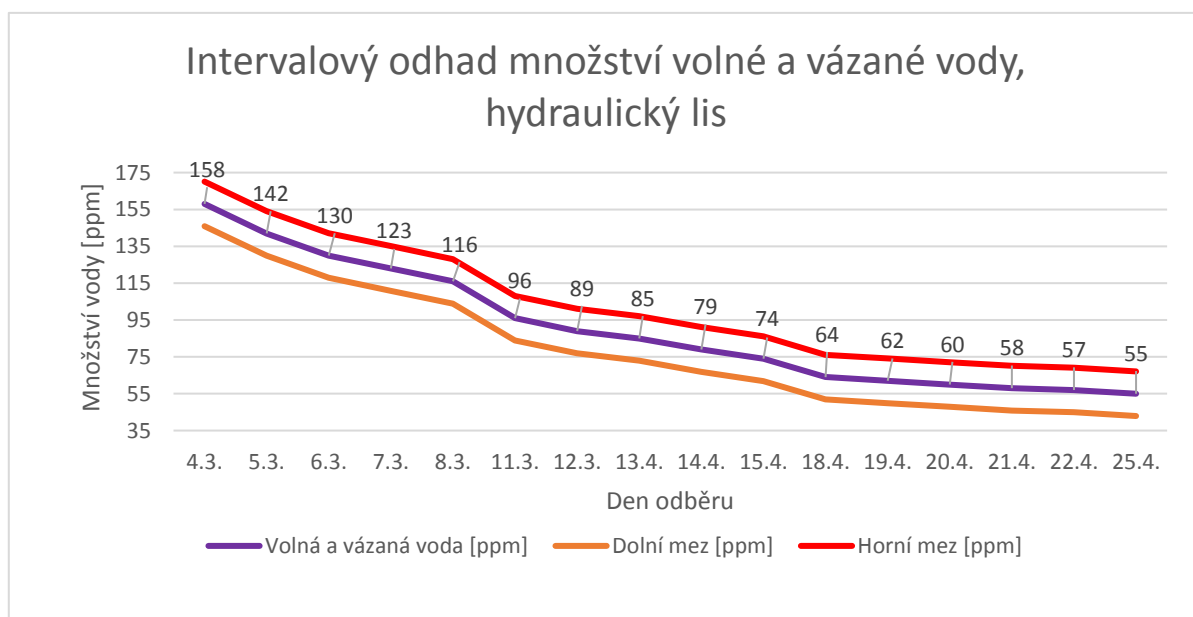
Po dosažení hodnot je intervalový odhad zapsán následovně:

$$\left(45 - 2,776 \frac{9,75}{\sqrt{5}}; 45 + 2,776 \frac{9,75}{\sqrt{5}}\right),$$

Pro nejvyšší naměřenou hodnotu vody 158ppm je dolní mez rovna 146ppm a horní mez je rovna 170ppm. Pro nejnižší naměřenou hodnotu vodu 55ppm je dolní mez rovna 43ppm a horní mez 67ppm.

Tabulka 16 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, hydraulický lis

Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Dolní mez [ppm]	Horní mez [ppm]
4.3.	158	146	170
5.3.	142	130	154
6.3.	130	118	142
7.3.	123	111	135
8.3.	116	104	128
11.3.	96	84	108
12.3.	89	77	101
13.4.	85	73	97
14.4.	79	67	91
15.4.	74	62	86
18.4.	64	52	76
19.4.	62	50	74
20.4.	60	48	72
21.4.	58	46	70
22.4.	57	45	69
25.4.	55	43	67

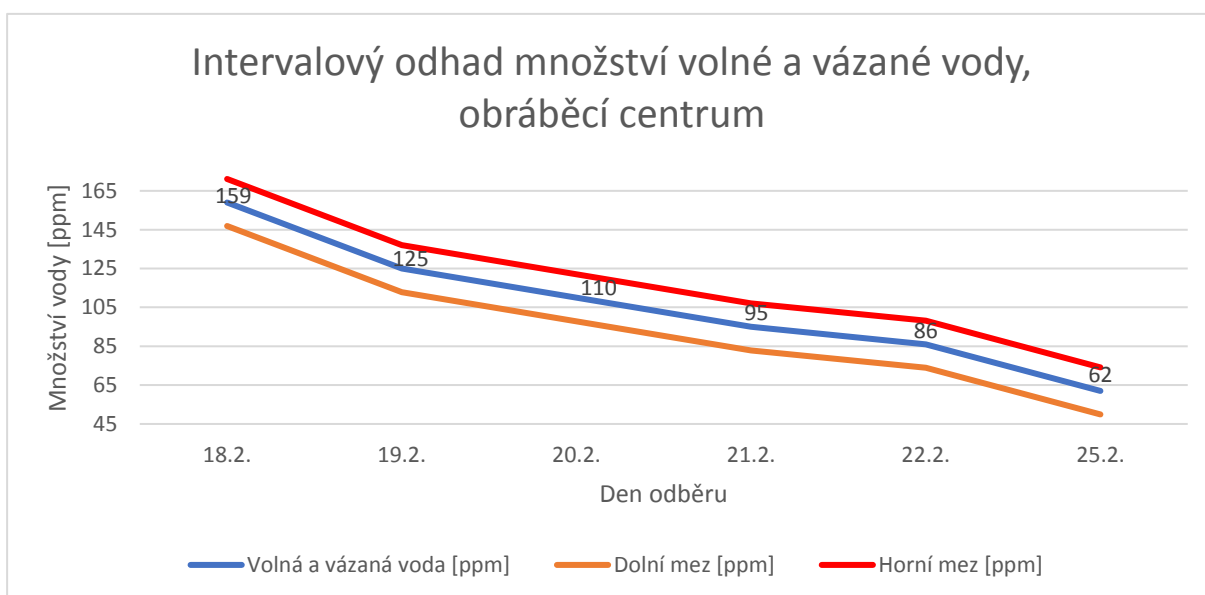


Obr. 42 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, hydraulický lis

Pro nejvyšší naměřenou hodnotu vody 159ppm je dolní mez rovna 147ppm a horní mez je rovna 171ppm. Pro nejnižší naměřenou hodnotu vodu 62ppm je dolní mez rovna 50ppm a horní mez 74ppm.

Tabulka 17 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, obráběcí centrum

Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Dolní mez [ppm]	Horní mez [ppm]
18.2.	159	147	171
19.2.	125	113	137
20.2.	110	98	122
21.2.	95	83	107
22.2.	86	74	98
25.2.	62	50	74



Obr. 43 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, obráběcí centrum

### Vyhodnocení přesnosti měření množství vody.

Ze změřených vzorků 1 až 5 z tabulky 15 vyplývá, že: hodnota směrodatné odchylky pro měření množství vody je rovna 9,75. Tato hodnota je podstatně vyšší než směrodatné odchylky měření kódu čistoty, opakovatelnost měření množství vody v oleji je tedy podstatně horší, variabilita měření je vyšší a přesnost měření je tedy oproti měření pevných částic výrazně horší. Avšak vysoká variabilita měření je také způsobena diagnostikou stopového množství vody v jednotkách ppm, dále může být způsobena neoptimálním nastavením rychlosti míchání vzorku během měření a vyčerpání kapacity titračního roztoku. Bylo zjištěno, že přesnost měření Coulometru 874 je horší, než udává výrobce a naměřené hodnoty nespádají do tolerančních mezí přesnosti měření. Chyba měření udávaná výrobcem zařízení je pro vzorky s obsahem vody do 1 mg je nižší než  $\pm 5\mu\text{g}$  (nižší než  $\pm 0,5\%$ ). Hodnoty zjištěné během měření však výrazně převyšují tuto toleranci. Před dalším měřením tedy doporučuji tedy kalibraci tohoto přístroje, případně konzultaci s výrobcem.



Následující text diplomové práce pojednává o druhé části experimentu, a to o vyhodnocení výsledků měření pomocí on-line diagnostiky. Postupně měření a vyhodnocení množství nečistot a poté měření a vyhodnocení množství vody.

### **5.2.2 On-line tribodiagnostika**

#### *Postup tribodiagnostiky*

On-line filtrační jednotka byla dopravena do bezprostřední blízkosti diagnostikovaného zařízení, v případě hydraulického lisu konkrétně na vrchní část rámu lisu, kde je umístěna olejová nádrž. Sací i odtoková hadice filtrační jednotky byla umístěna do olejové nádrže zařízení. Po umístění hadic došlo k hermetickému utěsnění celého hydraulického systému a spuštění filtrace. Každý den byly zaznamenány hodnoty měřených veličin z displeje on-line filtrační jednotky. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 18 pro hydraulický lis a tabulce 19 pro obráběcí centrum.

Vzhledem k principu filtrování, měření a vyhodnocování požadovaných veličin on-line, nebylo možné změřit vícekrát tentýž vzorek oleje. Konkrétně byly hodnoty z displeje on-line filtrační jednotky odečteny vždy jedenkrát za den, a to ve stejnou dobu, kdy došlo k odběru vzorku pro off-line diagnostiku. Z toho důvodu nebylo možné vyhodnotit variabilitu měření, jako v případě off-line diagnostiky. Předpokládám však, že variabilita bude stejná jako u off-line diagnostiky.

Experiment se řídil dle normy ČSN EN ISO 3171 - Automatický odběr vzorků z potrubí pro kapalně ropné výrobky. Hodnoty měřených parametrů všech vzorků provedených on-line diagnostikou jsou v tabulkách i obrázcích uvedeny zelenou barvou.

#### **Měření množství nečistot**

Vzorkovací frekvence pro měření nečistot je 1 hertz, tedy 1 měření za 1 sekundu. Zobrazovací frekvenci, tedy frekvence zobrazení hodnoty měření, lze nastavit dle požadavku od 5 minut do 1 hodiny. Aktuální hodnota uvedená na obrazovce displeje je poslední změřená hodnota za dobu od 5 minut do 1 hodiny. Na displeji je uvedeno kódové číslo čistoty (pevných částic) ve tvaru X/Y/Z dle normy ISO 4406. Hodnoty množství nečistot z celého průběhu filtrace jsou zaznamenány v tabulce 18 a tabulce 19. Zobrazovací frekvence byla během doby experimentu nastavena na 5 minut.

#### **Měření množství vody**

Vzorkovací frekvence měření množství vody je u popisované on-line filtrační jednotky 1 hertz. Stejná je i zobrazovací frekvence aktuální hodnoty zobrazovaná na displeji zabudované obrazovky. Na displeji je uvedena hodnota množství vody v ppm, dle normy ČSN EN ISO 12937. Hodnoty množství volné a vázané vody z celého průběhu filtrace jsou zaznamenány v tabulce 18 a tabulce 19.

# 1) Hydraulický lis s objemem nádrže hydraulického oleje 11 000 l

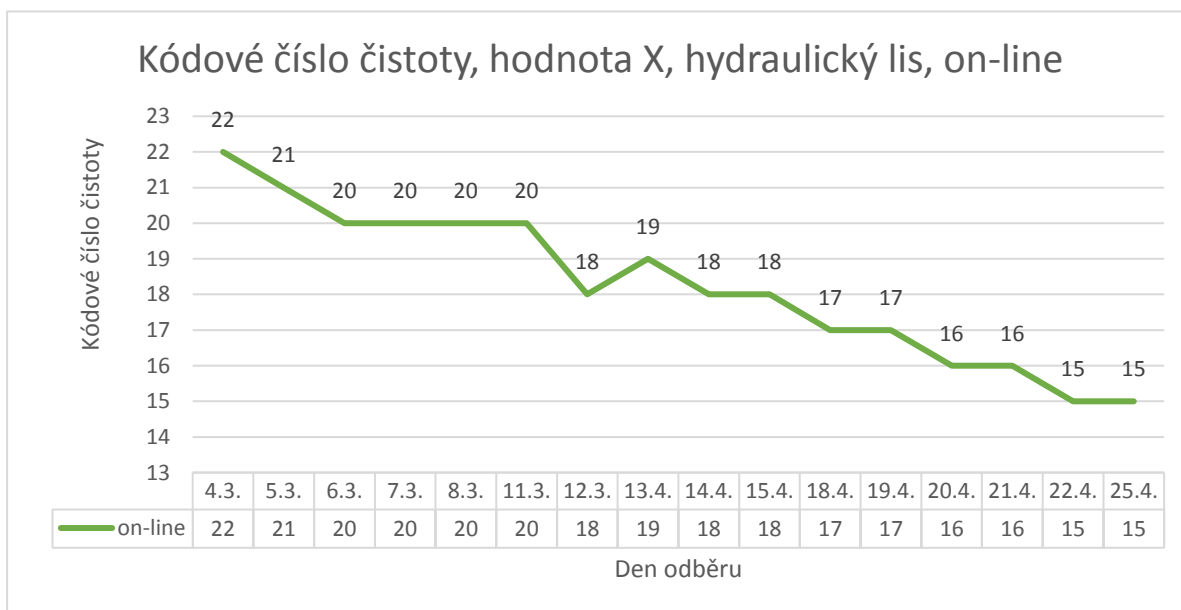
Hodnoty měřených veličin jsou pro lepší přehlednost ve formě tabulek a obrázků grafů.

Tabulka 18 Hodnoty parametrů oleje z hydraulického lisu, on-line

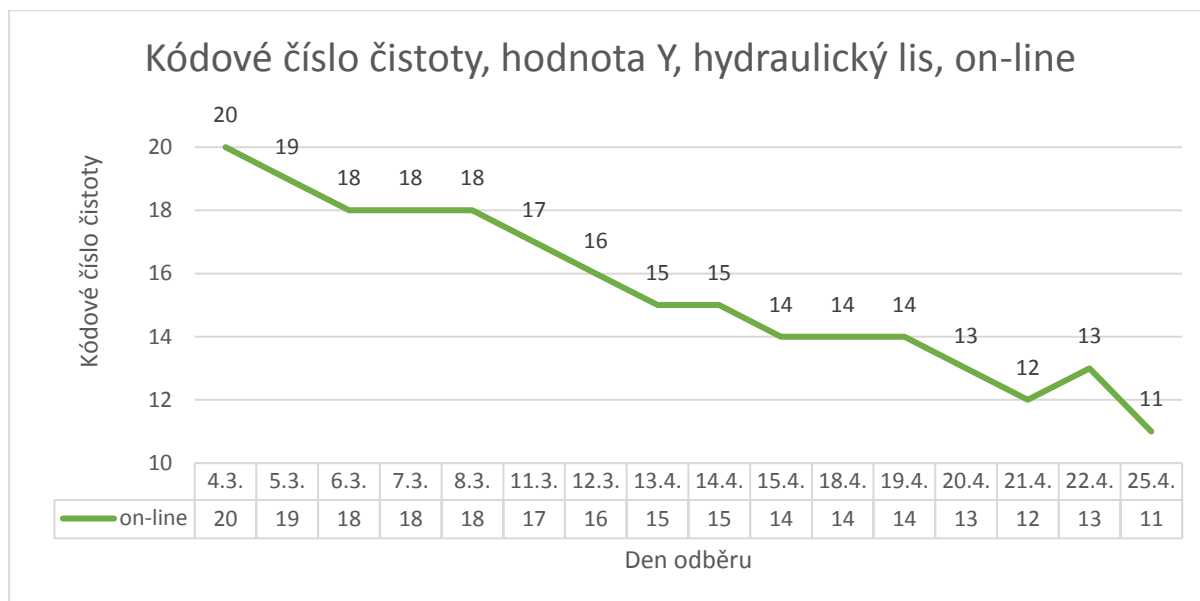
Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Kódové číslo čistoty dle [ISO 4406]	Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Kódové číslo čistoty dle [ISO 4406]
4.3.	152	22/20/18	14.4.	84	18/15/14
5.3.	135	21/19/17	15.4.	80	18/14/13
6.3.	130	20/18/16	18.4.	66	17/14/13
7.3.	124	20/18/15	19.4.	63	17/14/11
8.3.	119	20/18/15	20.4.	62	16/13/12
11.3.	100	20/17/15	21.4.	60	16/12/11
12.3.	96	18/16/14	22.4.	58	15/13/10
13.4.	92	19/15/14	25.4.	58	15/11/10

## a) Vyhodnocení množství nečistot

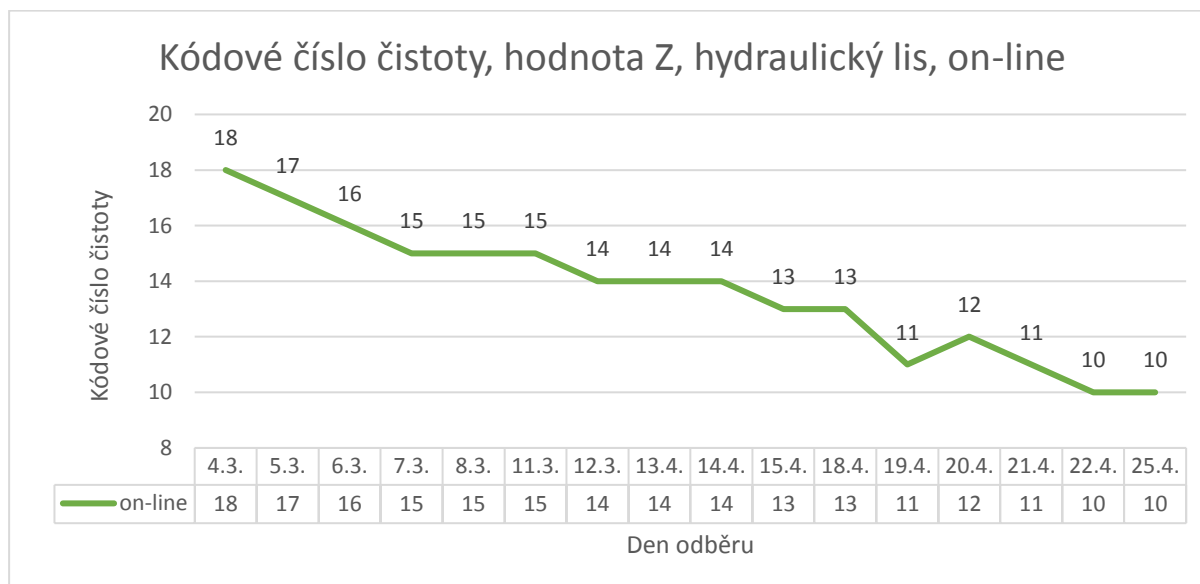
Kódové číslo čistoty ve tvaru X/Y/Z bylo pro lepší přehlednost opět separován do 3 samostatných obrázků (obr.44, obr.45 a obr.46). Postupně zde budou uvedeny v následujícím pořadí, nejprve hodnota X, poté Y a na konec Z.



Obr. 44 Kódové číslo čistoty, hodnota X, hydraulický lis, on-line



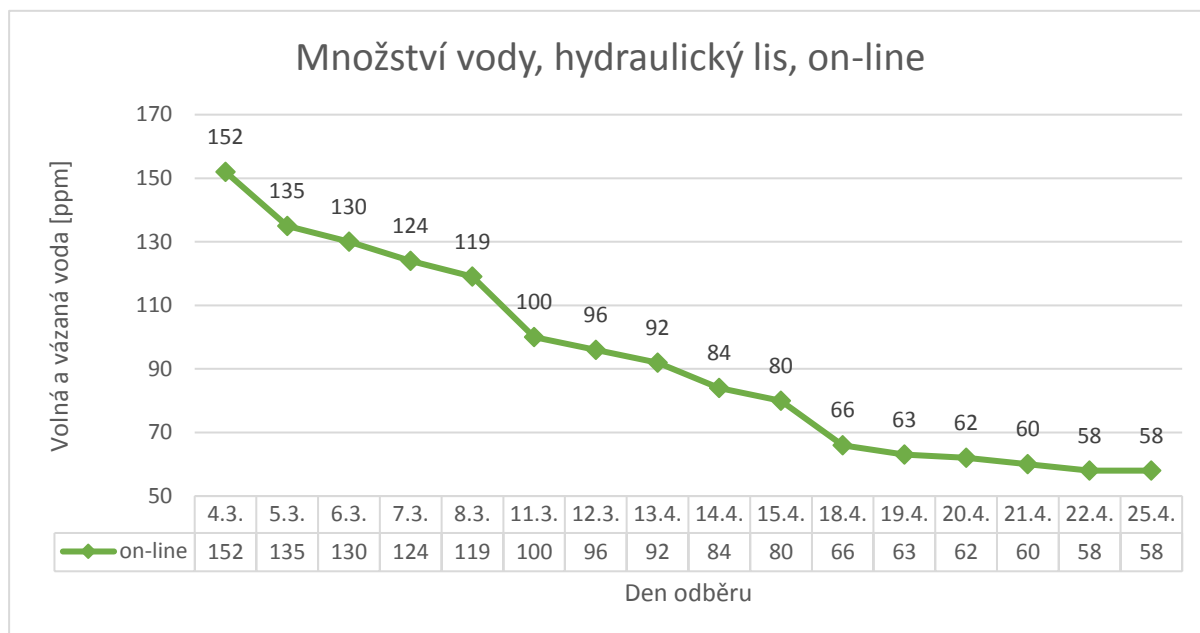
Obr. 45 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, hydraulický lis, on-line



Obr. 46 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, hydraulický lis, on-line

Následující obrázek vyjadřuje množství přítomné volné a vázané vody v hydraulickém oleji v celém průběhu filtrace.

*b) Vyhodnocení množství volné a vázané vody*



Obr. 47 Množství vody, hydraulický lis, on-line

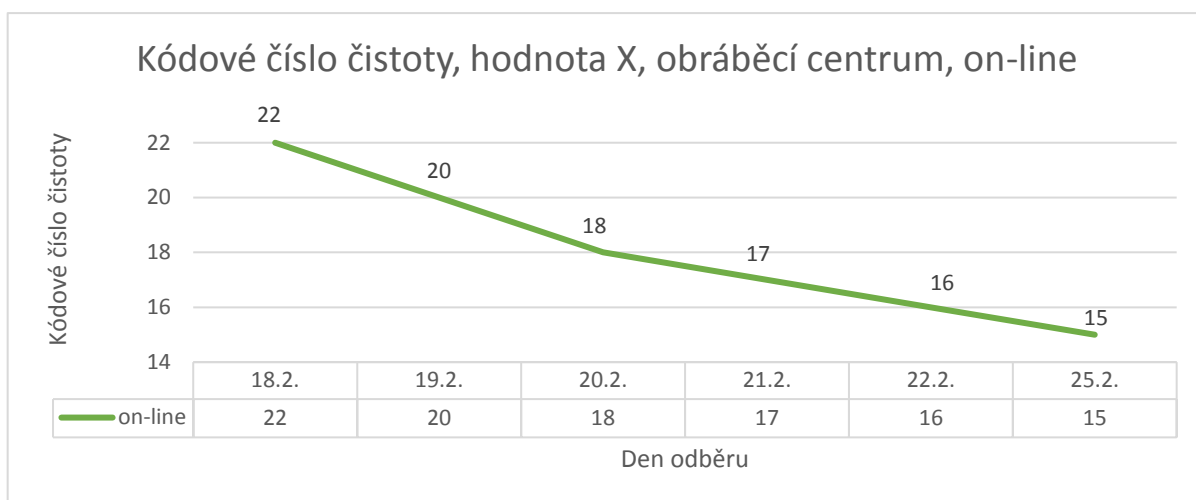
*2) Obráběcí centrum s objemem nádrže hydraulického oleje 300 l*

Opět budou nejprve uvedeny obrázky grafů zobrazující pokles pevných částic během filtrace. Množství pevných částic je vyjádřeno kódem čistoty X/Y/Z. Pro lepší přehlednost bude kód čistoty separován do 3 samostatných obrázků (obr.48 pro X, obr.49 pro Y a obr.50 pro Z). Následovat bude obrázek grafu zobrazující pokles množství volné a vázané vody během filtrace (obr. 51).

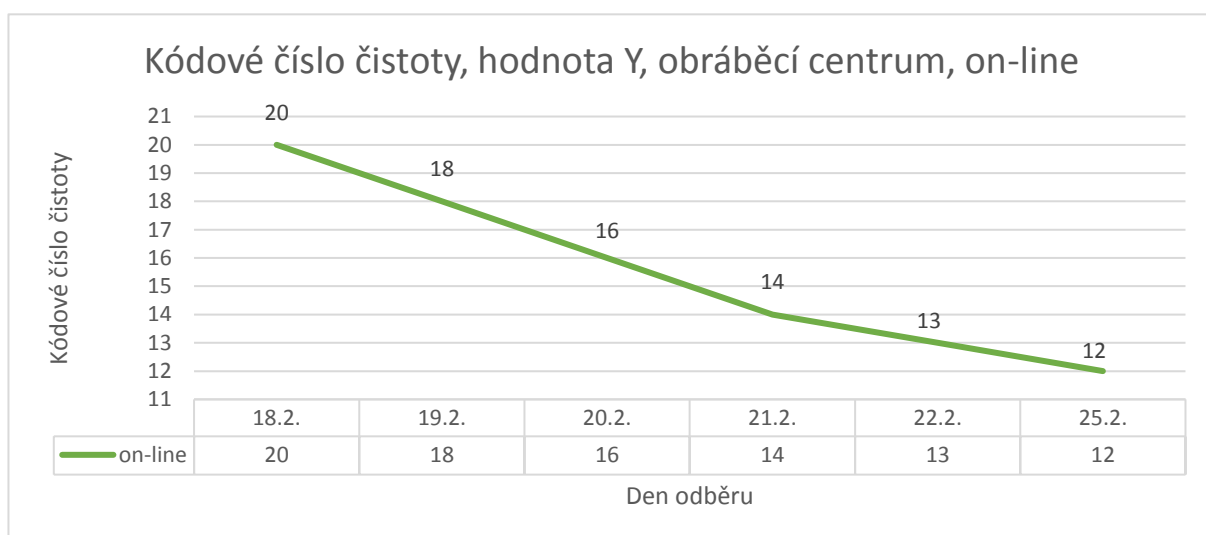
Tabulka 19 Hodnoty parametrů oleje z obráběcího centra, on-line

Den odběru	Volná a vázaná voda [ppm]	Kódové číslo čistoty dle [ISO 4406]
18.2.	165	22/20/16
19.2.	129	20/18/15
20.2.	112	18/16/13
21.2.	90	17/14/12
22.2.	84	16/13/10
25.2.	52	15/12/10

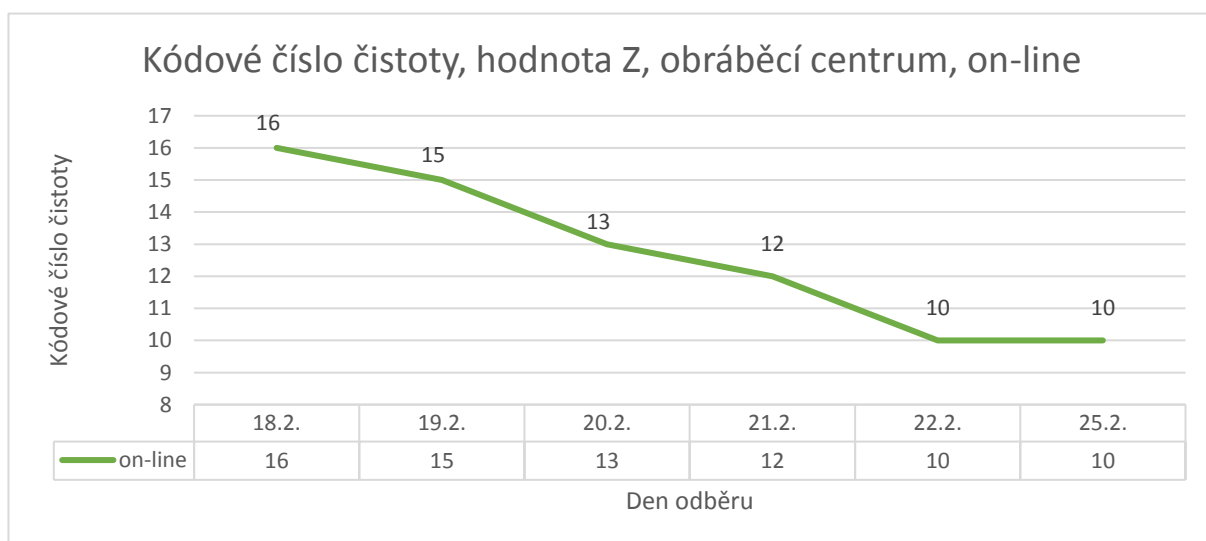
a) *hodnocení množství nečistot*



Obr. 48 Kódové číslo čistoty, hodnota X, obráběcí centrum, on-line

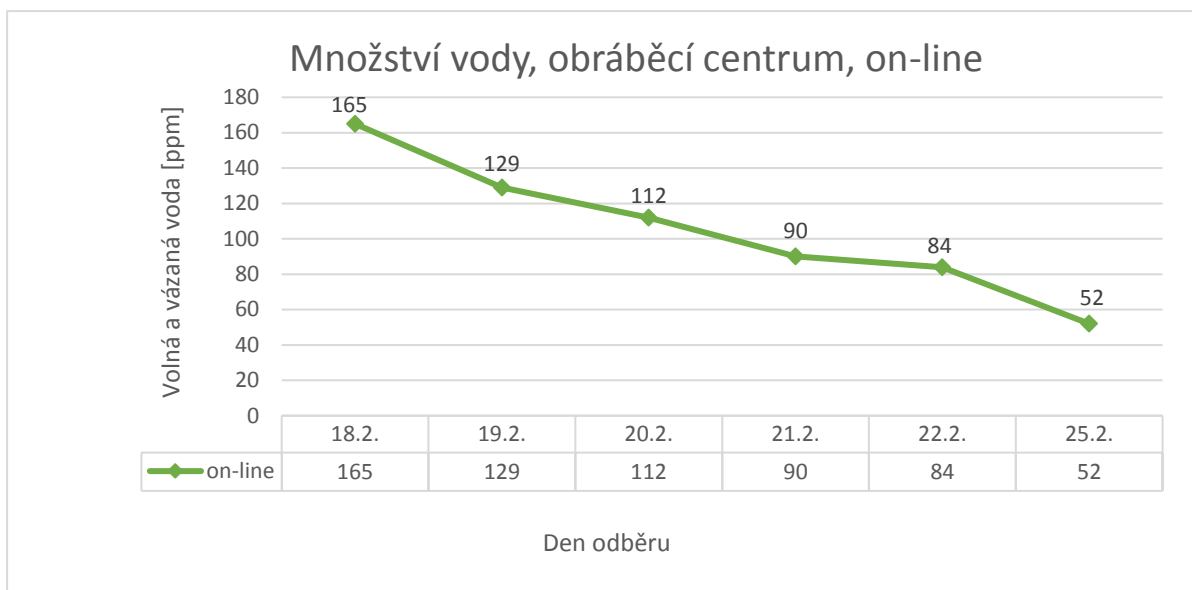


Obr. 49 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, obráběcí centrum, on-line



Obr. 50 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, obráběcí centrum, on-line

b) *Vyhodnocení množství volné a vázané vody (obr.51)*



Obr. 51 Množství vody, obráběcí centrum, on-line

V následující části práce bude provedeno porovnání výsledků měření off-line a on-line diagnostiky. Výsledky budou pro přehlednost ve formě obrázků grafů. I zde platí, že zelená barva byla použita pro on-line diagnostiku, fialová pro off-line měření oleje u hydraulického lisu a modrá barva pro off-line měření oleje u obráběcího centra.

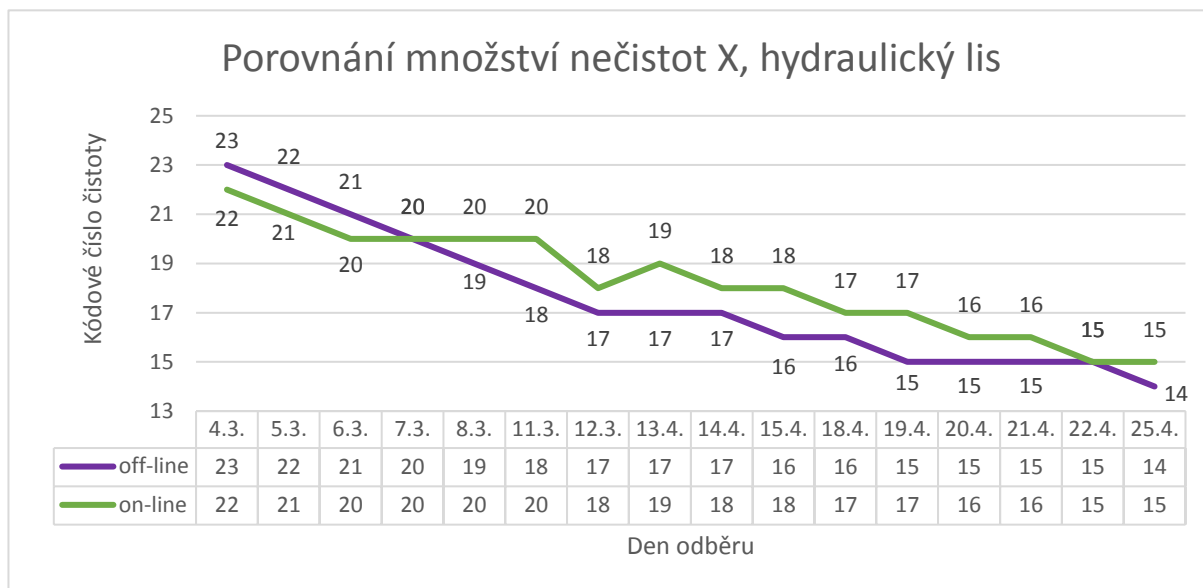
## 6 ROZBOR VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V této kapitole budou postupně okomentovány výsledky měření z experimentální části diplomové práce. Nejprve budou uvedeny obrázky grafů popisující trendy on-line a off-line diagnostiky. Postupně pro hydraulický lis a poté pro obráběcí centrum. Vždy v pořadí prvně obrázky grafů a poté jejich komentář.

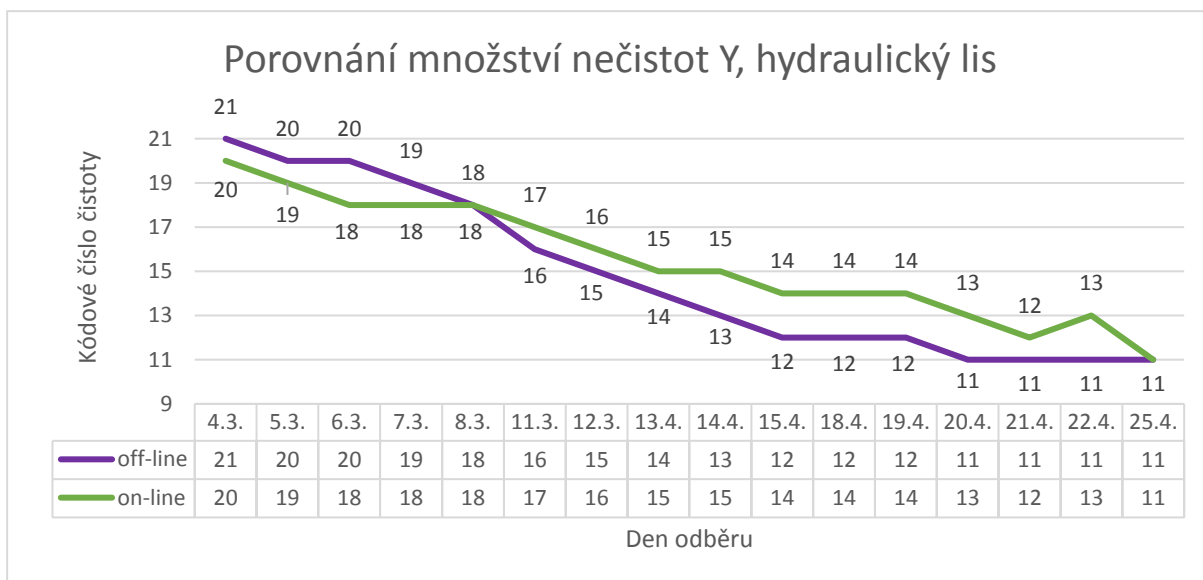
### Porovnání hodnot off-line a on-line diagnostiky

#### Množství nečistot

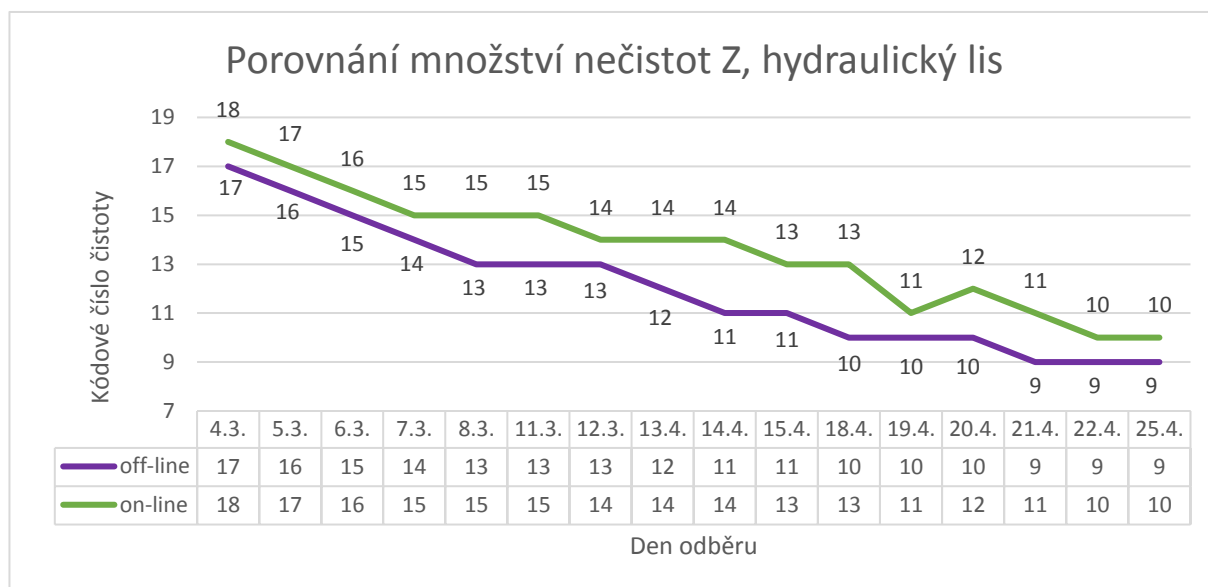
##### 1) Hydraulický lis



Obr. 52 Porovnání množství nečistot X, hydraulický lis



Obr. 53 Porovnání množství nečistot Y, hydraulický lis



Obr. 54 Porovnání množství nečistot Z, hydraulický lis

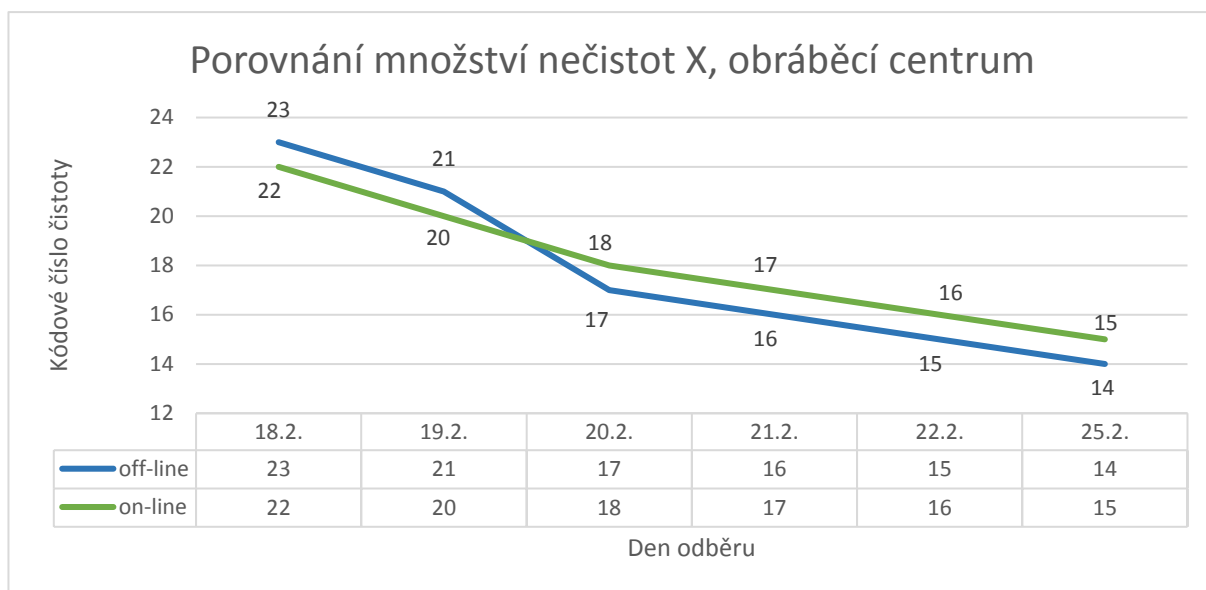
Jak je z grafů patrné, hodnoty nečistot (pevných částic) naměřené off-line i on-line metodami jsou velmi podobné. Rozdíly hodnot jsou vzhledem k velikosti intervalových mezí  $\pm 1$  kódové číslo minimální (intervalové meze jsou podrobně popsány v kapitole 5).

U všech třech obrázků grafů (obr. 52, obr. 53 a obr. 54) můžeme vidět relativně exponenciální pokles množství nečistot X, Y i Z během procesu filtrace, zejména u off-line diagnostiky. Odchylka hodnot od tvaru exponenciální křivky je zapříčiněna nepřesností měření, ale také chybějícími hodnotami měření v období víkendů. Hodnoty složky kódu čistoty X se před filtrací pohybovaly kolem hodnoty 23, po filtraci 15. Hodnoty složky kódu čistoty Y se před filtrací pohybovaly kolem hodnoty 21 a po filtraci 12. Hodnoty složky kódu čistoty Z se před filtrací pohybovaly kolem hodnoty 18 a po filtraci 9. Doba filtrace byla celkem 21 dní.

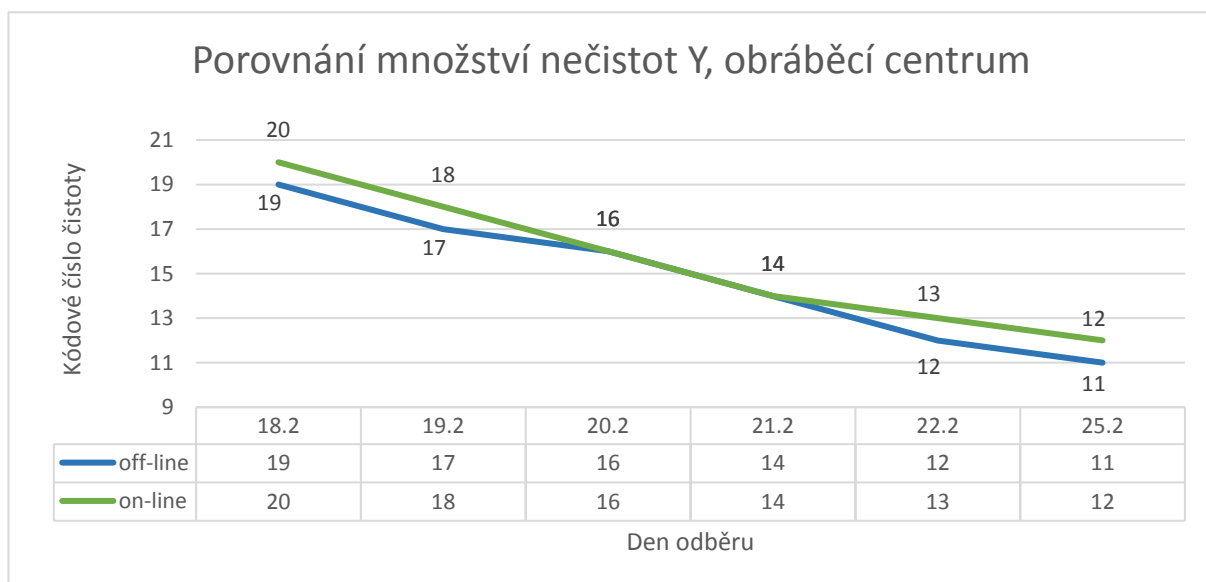
Porovnání množství nečistot X v oleji hydraulického lisu popisuje obr. 52. Z tohoto obrázku lze formulovat následující. On-line filtrační jednotka obsahuje počítač částic s rozsahem měření kódu čistoty od 22 do 10. Off-line diagnostický přístroj je oproti tomu schopen měřit kódové číslo od 28 až do hodnoty 0,9. Z toho důvodu je schopen olej s vysokým nebo naopak s velice nízkým obsahem nečistot vyhodnotit přesněji. Kromě nejvyšších hodnot složky kódu čistoty X a nejnižších hodnot složky kódu čistoty Z jsou zbylé naměřené hodnoty oběma metodami vzhledem k přesnosti měření diagnostických přístrojů velmi podobné.



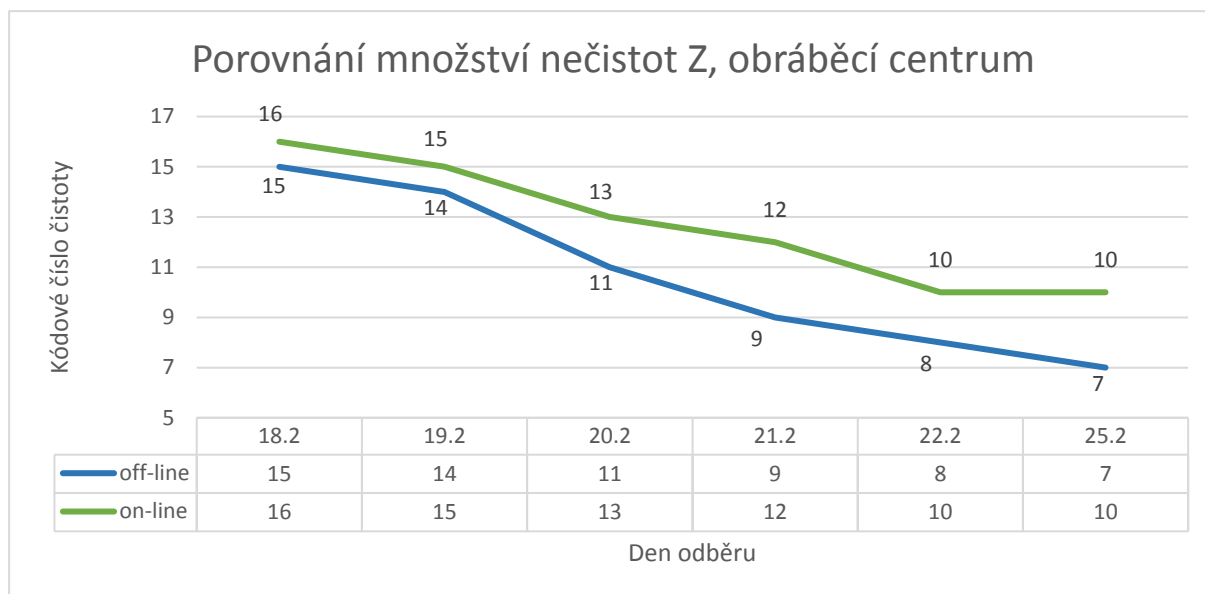
## 2) Obráběcí centrum



Obr. 55 Porovnání množství nečistot X, obráběcí centrum



Obr. 56 Porovnání množství nečistot Y, obráběcí centrum



Obr. 57 Porovnání množství nečistot Z, obráběcí centrum

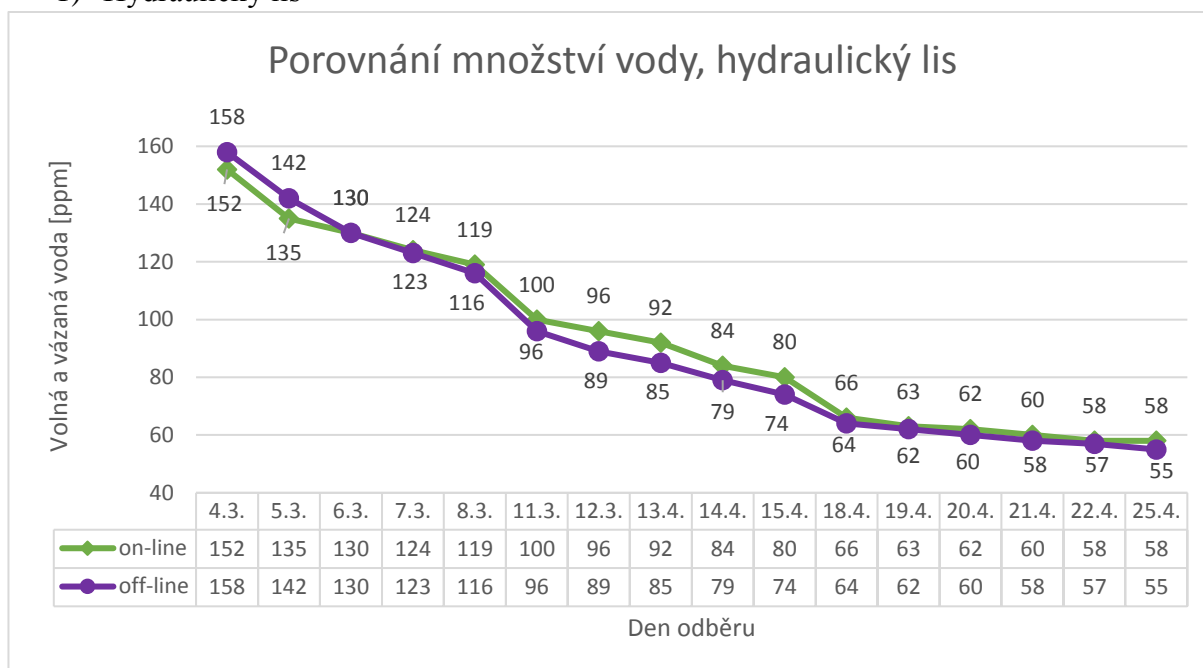
I z obrázků grafů popisující průběh filtrace obráběcího centra je patrné, že hodnoty nečistot (pevných částic) naměřené off-line i on-line metodami jsou opět velmi podobné. Rozdíly hodnot jsou vzhledem k velikosti intervalových mezí  $\pm 1$  kódové číslo minimální (intervalové meze jsou podrobně popsány v kapitole 5).

U všech třech obrázků grafů (obr. 55, obr. 56 a obr. 57) můžeme opět vidět relativně exponenciální až lineární pokles množství nečistot X, Y i Z během procesu filtrace. Odchylna hodnot od tvaru exponenciální křivky až téměř k lineárnímu je zapříčiněna nepřesností měření, chybějícími hodnotami měření v období víkendů, ale zejména relativně krátkou dobou filtrace, v důsledku malého množství hydraulického oleje používaného v zařízení. Hodnoty složky kódu čistoty X se před filtrací pohybovaly kolem hodnoty 23, po filtraci 15. Hodnoty složky kódu čistoty Y se před filtrací pohybovaly kolem hodnoty 20 po filtraci 12. Hodnoty složky kódu čistoty Z se před filtrací pohybovaly kolem hodnoty 16 a po filtraci 9. Doba filtrace byla celkem 7 dní.

On-line diagnostický přístroj obsahuje počítač částic s rozsahem měření kódu čistoty od 22 do 10. Off-line diagnostický přístroj je oproti tomu schopen měřit kódové číslo od 28 až do hodnoty 0,9, z toho důvodu je schopen olej s vysokým nebo naopak s velice nízkým obsahem nečistot vyhodnotit přesněji. Kromě nejnižších hodnot složky Z kódového čísla čistoty jsou zbylé vyhodnocené hodnoty oběma metodami vzhledem k přesnosti měření diagnostických přístrojů velmi podobné.

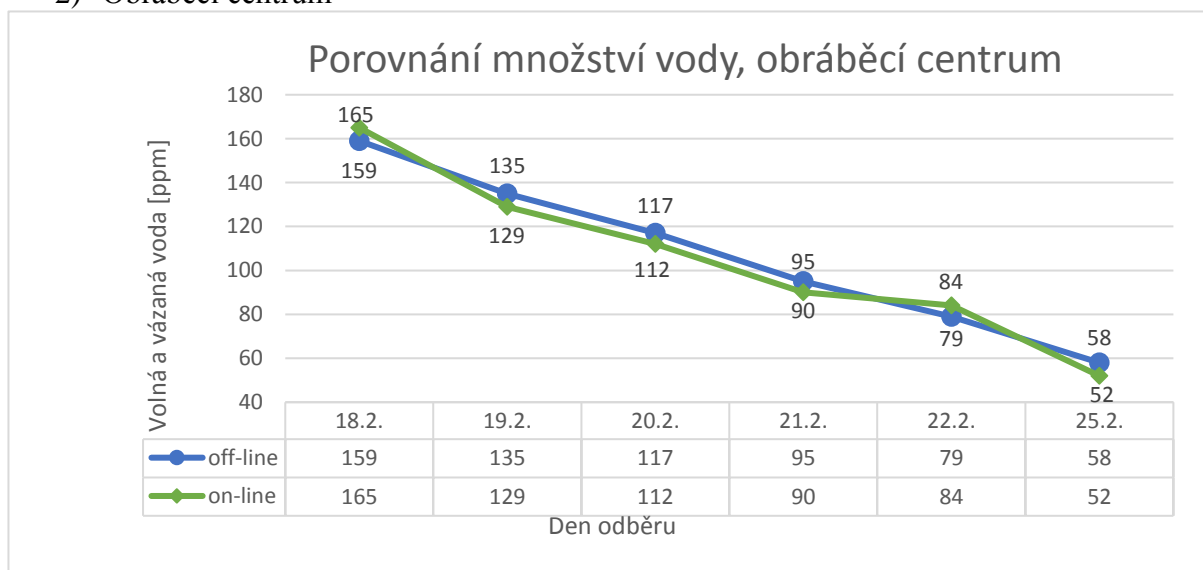
## Množství vody

### 1) Hydraulický lis



Obr. 58 Porovnání množství vody, hydraulický lis

### 2) Obráběcí centrum



Obr. 59 Porovnání množství vody, obráběcí centrum

Stejně jako při vyhodnocení porovnání množství nečistot, tak i v případě množství vody vzhledem k šířce intervalových odhadů, prokázaných předchozím statistickým vyhodnocením (podrobně popsáno v kapitole 5) jsou rozdíly hodnot naměřených off-line a on-line diagnostickými prostředky zanedbatelné.

U obou obrázků grafů (obr. 58, obr. 59), zejména pak na obr. 58 je vidět relativně exponenciální pokles množství vody během procesu filtrace. Odchylna naměřených hodnot od tvaru exponenciální křivky je zapříčiněna nepřesností měření a zejména chybějícími hodnotami měření v období víkendů. Celková doba filtrace byla opět 21 pro hydraulický lis a 7 dní pro obráběcí centrum.

V následujícím textu bude uvedeno ekonomické zhodnocení on-line filtrační jednotky začínající pořizovacími náklady a dále zahrnující vyčíslení předpokládané finanční úspory za dobu jednoho roku používání on-line filtrační jednotky.

## Ekonomické zhodnocení

### 1) Pořizovací cena diagnostických/filtračních zařízení

On-line filtrační jednotka s její schopností měřit množství nečistot (pevných částic) a množství vody v oleji je schopna nahradit tři off-line zařízení. Konkrétně off-line filtraci, automatický počítač částic a coulometr používaný k měření množství vody. Nyní budou uvedeny orientační pořizovací ceny jednotlivých zařízení.

#### *Ceny off-line zařízení*

Mobilní filtrační jednotka, Filtration Technology; 200 000 Kč.

Automatický počítač částic, LaserNet; 1 200 000 Kč.

Měření množství vody, Karl Fischer Coulometer 874, Metrohm; 1 100 000 Kč.

#### *Cena zařízení on-line filtrační jednotky*

On-line filtrační jednotka, Filtration Technology; 400 000 Kč.

Finanční úspora při nahrazení tří off-line zařízení jednou on-line filtrační jednotkou schopnou filtrace oleje, měření množství pevných částic a vody v oleji je tedy 2 100 000 Kč. Pořizovací ceny a finanční úsporu vyjadřuje tabulka 20.

Tabulka 20 Pořizovací cena diagnostických/filtračních zařízení

Pořizovací náklady zařízení		Pořizovací cena [Kč]
On-line diagnostika	On-line filtrační jednotka, Filtration Technology	400 000
Off-line diagnostika	Měření vody, Karl Fischer Coulometer	1 100 000
	Automatický počítač částic, LaserNet	1 200 000
	Off-line filtrační jednotka, Filtration Technology	200 000
Finanční úspora pořízením on-line filtrační jednotky		<b>2 100 000</b>

### 2) Cena vyhodnocení odběru vzorků

Cena diagnostiky množství nečistot (pevných částic) a množství vody jednoho vzorku je v Centrálním technickém servisu při použití výše uvedených off-line diagnostických zařízení vyčíslena na 800 Kč. V této ceně je zahrnuta mzda pracovníka, logistický přesun i amortizace diagnostických a jiných prostředků. Cena vyhodnocení pomocí on-line filtrační jednotky, ještě nebyla stanovena, avšak v porovnání s off-line vyhodnocením půjde o zlomek ceny. Vzhledem k výraznému časovému zkrácení určení hodnot diagnostikovaných parametrů a výrazně nižším pořizovacím nákladům byla pro potřeby této diplomové práce cena jedné diagnostiky odhadnuta na 200 Kč.

### Hydraulický lis

Hydraulický olej hydraulického lisu byl v experimentální části práce filtrován po dobu 21 dní, během této doby bylo odebráno 16 vzorků. Vždy jeden vzorek každý pracovní den. Cena off-line diagnostiky za celou dobu filtrace zařízení je tedy 12 800 Kč. Oproti tomu cena vyhodnocení při použití on-line filtrace je 3 200 Kč. Finanční úspora za dobu filtrace jednoho zařízení je tedy 9 600 Kč. Ceny diagnostiky vzorků oleje hydraulického lisu při použití off-line a on-line diagnostických prostředků za celou dobu průběhu jedné filtrace vyjadřuje tabulka 21.

Tabulka 21 Cena diagnostiky vzorků oleje hydraulického lisu off-line a on-line

Hydraulický lis (11 000 l oleje)		Cena jednoho měření [Kč]	Počet měření [-]	Náklady na měření po dobu 1 filtrace [Kč]
On-line zařízení	On-line filtrační jednotka, Filtration Technology	200	16	3 200
Off-line zařízení	Měření vody, Karl Fischer Coulometer	800	16	12 800
	Automatický počítač částic, LaserNet			
Finanční úspora provozem on-line filtrační jednotky za 1 filtraci		600		<b>9 600</b>

### Obráběcí centrum

Hydraulický olej obráběcího centra byl filtrován po dobu 8 dní, během této doby bylo odebráno 6 vzorků. Vždy jeden vzorek každý pracovní den. Cena off-line diagnostiky za celou dobu filtrace zařízení je tedy 4 800 Kč. Oproti tomu cena při použití on-line filtrace je 1 200 Kč. Finanční úspora za dobu filtrace jednoho zařízení je tedy 3 600 Kč. Ceny diagnostiky vzorků oleje obráběcího centra při použití off-line a on-line diagnostických prostředků za celou dobu průběhu jedné filtrace vyjadřuje tabulka 22.

Tabulka 22 Cena diagnostiky vzorků oleje obráběcího centra off-line a on-line

Obráběcí centrum (300 l oleje)		Cena jednoho měření [Kč]	Počet měření [-]	Náklady na měření po dobu 1 filtrace [Kč]
On-line zařízení	On-line filtrační jednotka, Filtration Technology	200	6	1 200
Off-line zařízení	Měření vody, Karl Fischer Coulometer	800	6	4 800
	Automatický počítač částic, LaserNet			
Finanční úspora provozem on-line filtrační jednotky za 1 filtraci		600		<b>3 600</b>

### 3) Finanční úspora za jeden roku provozu

Předpokládaný počet požadovaných filtrací hydraulických lisů s objemem oleje podobným jako v experimentální části je pro rok 2020 stanoven na 10 kusů. Předpokládaný počet požadovaných filtrací obráběcích center s objemem oleje podobným jako v experimentální části je pro rok 2020 stanoven na 8 kusů. Vzhledem k finanční úspoře vzniklé během filtrace a s tím spojené průběžné diagnostiky každého zařízení můžeme předpokládat finanční úsporu vzniklou provozem on-line filtrační jednotky za rok 2020 u hydraulických lisů 96 000 Kč a u obráběcích center 28 800 Kč. Celkově tedy 124 800 Kč.

Tabulka 23 Finanční úspora provozem on-line filtrační jednotky za 1 rok

Úspora během jednoho roku	Náklady na diagnostiku během filtrace 1 zařízení [Kč]	Počet měření zařízení [ks]	Náklady na diagnostiku během 1 roku [Kč]
<b>Off-line</b>			
Hydraulický lis	12 800	10	128 000
Obráběcí centrum	4 800	8	38 400
			<b>166 400</b>
<b>On-line</b>			
Hydraulický lis	3 200	10	32 000
Obráběcí centrum	1 200	8	9 600
			<b>41 600</b>
<b>Finanční úspora provozem on-line filtrační jednotky za 1 rok</b>			<b>124 800</b>

#### Celková finanční úspora při provozu on-line filtrační jednotky

Celková finanční úspora on-line filtrační jednotky schopné filtrace a vyhodnocení sledovaných parametrů kvality oleje je oproti off-line filtraci a diagnostice 2 100 000 Kč za pořizovací náklady a 124 800 Kč za náklady vzniklé potřebou diagnostiky během procesu filtrace každého zařízení. Celkově je tedy finanční úspora 2 224 800 Kč za jeden rok užívání on-line filtrační jednotky. Tato částka je včetně pořizovacích nákladů na zakoupení každého použitého zařízení.

Tabulka 24 Celková finanční úspora během 1 roku provozu on-line filtrační jednotky

Celková finanční úspora během 1 roku	Pořizovací cena [Kč]	Náklady na diagnostiku během 1 roku [Kč]	Celková úspora [Kč]
On-line zařízení	400 000	41600	441 600
Off-line zařízení	1 100 000	166400	2 666 400
	1 200 000		
	200 000		
<b>Finanční úspora provozem on-line filtrační jednotky</b>	<b>2 100 000</b>	<b>124 800</b>	<b>2 224 800</b>

***Finanční úspora při změně periody odebrání vzorků během filtrace.***

Dle mého doporučení (doporučení popsáno v kapitole 7) stačí v případě filtrace hydraulického lisu s objemem olejové nádrže 11 000 l odebírat vzorek oleje jednou za 4 dny. Tedy místo 16 vzorků pouze 4 vzorky. Náklady na filtraci a s ní spojenou diagnostiku oleje hydraulických lisů by tedy byly sníženy o 75% původní ceny, a to jak při off-line tak on-line filtraci. Dále dle mého doporučení stačí v případě obráběcího centra s objemem olejové nádrže 300 l odebírat vzorek jednou za 2 dny. Náklady na filtraci a s ní spojenou diagnostiku oleje obráběcích center by tedy byly sníženy o 50% původní ceny, a to jak při off-line tak on-line filtraci.

## **7 FORMULACE DOPORUČENÍ V RÁMCI ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY PRO FIRMU ŠKODA AUTO, A.S. MLADÁ BOLESLAV**

On-line filtrační jednotka byla vhodně navržena a hodnoty nečistot změřené během filtrace vykazují poměrně minimální rozdíly vůči hodnotám změřenými off-line diagnostickými přístroji. Z toho důvodu doporučuji začlenit on-line diagnostiku reprezentovanou on-line filtrační jednotkou do prediktivní údržby poskytované Centrálním technickým servisem ve společnosti Škoda Auto a.s. Konkrétně doporučuji v rámci možností postupné nahrazování off-line filtračních jednotek právě testovanou nebo podobnou on-line filtrační jednotkou. Tímto by v rámci údržby došlo ke značným finančním úsporám, jak je naznačeno v kapitole 6 v souvislosti s ekonomickým zhodnocením.

Rychlost filtrace oleje pomocí testované on-line filtrační jednotky byla zjištěna pro hydraulický lis s objemem olejové nádrže na 11 000 litrů na 21 dní nepřetržité filtrace a pro obráběcí centrum s objemem olejové nádrže na 300 litrů na 8 dní nepřetržité filtrace. Pro další filtraci podobných zařízení tedy doporučuji dodržet tyto časy filtrace s přihlédnutím ke stavu počátečního znečištění oleje.

V průběhu experimentu, konkrétně při sběru naměřených hodnot z on-line filtrační jednotky bylo nezbytné přijet na místo filtrace a odečíst hodnoty parametrů filtrace z displeje on-line filtrační jednotky. Jako další krok k automatizaci doporučuji on-line přenos naměřených dat, například pomocí routeru do vnitrofiremní sítě, ze které budou moci odpovědní pracovníci Centrálního technického servisu Škoda Auto a.s. průběh filtrace sledovat on-line a ušetří mnoho času logistickými přesuny na místo filtrace a zpět.

V případě dalšího využívání off-line filtrace a s ní spojené off-line diagnostiky doporučuji změnu intervalů odběru a diagnostiky vzorků během filtrace. Pro zařízení s objemem hydraulického oleje kolem 10 000 l navrhuji periodu odběru jednou za 4 dny namísto stávajícího odběru prováděného každý den. Pro zařízení s objemem hydraulického oleje kolem 5 000 l, doporučuji odběr každé 3 dny namísto stávajícího odběru prováděného každý den. A pro zařízení s objemem hydraulického oleje kolem 500 l navrhuji periodu odběru jednou za 2 dny namísto stávajícího odběru prováděného každý den. Tyto periody odběru jsou oproti původnímu plánu četnosti odběrů vzhledem k informativní povaze stavu čistoty hydraulického oleje dostatečné.



## 8 ZÁVĚR

V diplomové práci bylo obecně pojednáno o údržbě ve firemní praxi a byl popsán současný stav údržby ve firmě Škoda Auto a.s. s důrazem na tribodiagnostiku a off-line a on-line tribodiagnostické prostředky, konkrétně se jednalo o off-line a on-line diagnostické prostředky používané v Centrálním technickém servisu, což je oddělení ve společnosti Škoda Auto a.s., které se zabývá olejovým hospodářstvím a tribodiagnostikou ve všech třech výrobních závodech Škoda Auto a.s. v České republice. Dále byl proveden systémový rozbor problematiky. Konkrétně byl použit diagram příčin a poruch, známý také jako Ishikawův diagram pro určení faktorů, které zapříčiňují nekvalitu oleje během jeho životního cyklu. V další části práce byl naplánován postup řešení diplomové práce a provedena experimentální část. Ta spočívá v otestování nově pořízené on-line filtrační jednotky, která je zároveň schopna vyhodnocovat množství nečistot v oleji. Konkrétně množství pevných částic, které řadí dle jejich velikosti a množství do kódových tříd čistoty dle ČSN ISO 4406 a druhým sledovaným parametrem je množství vody v oleji vyhodnocované v jednotkách ppm na 1 ml oleje.

Vedle ověření funkce on-line filtrační jednotky, byly experimentálně určeny potřebné časy pro filtraci znečištěného oleje u dvou výrobních zařízení. První z nich byl hydraulický lis s olejovou nádrží na 11 000 l a počátečním znečištěním vyjádřeným kódem čistoty 23/21/17 a množstvím vody 158ppm. U takového znečištění a množství oleje je potřeba 16 dní nepřetržité filtrace pro dosažení úrovně čistoty oleje běžné ve Škoda Auto a.s. Druhé zařízení bylo obráběcí centrum s olejovou nádrží na 300 l a počátečním znečištěním vyjádřeným kódem čistoty 23/19/15 množstvím vody 159ppm je potřeba pro dosažení úrovně čistoty oleje běžné ve Škoda Auto a.s. 6 dní nepřetržité filtrace. Použité hodnoty znečištění uvedené u obou zařízení, jak hodnoty počáteční, tak konečné byly naměřeny pomocí off-line diagnostiky. Použité hodnoty byly změřeny off-line diagnostickými prostředky. Objem průtoku oleje on-line filtrační jednotkou během experimentu byl přibližně 11,2 l/min.

V další části experimentu bylo provedeno porovnání přesnosti měření množství pevných částic a množství vody přítomné v hydraulickém oleji během procesu filtrace na dvou výrobních zařízeních. Obě zařízení byla již stručně popsána v minulém bodu závěru. Pro doplnění: první z filtrovaných zařízení byl hydraulický lis, používaný při přípravě výroby částí karoserie osobních vozů a druhé zařízení bylo obráběcí centrum, používané při obrábění bloku motoru Fabia a Octavia. Obě dvě výrobní zařízení byla současně měřena a vyhodnocena off-line a on-line diagnostickými přístroji. Při porovnání naměřených hodnot bylo zjištěno, že přesnost měření off-line a on-line diagnostickými prostředky je téměř shodná (vzhledem k přesnosti měření udávané výrobcí použitých zařízení/senzorů).

V poslední části práce byla v rámci tribodiagnostiky formulována doporučení pro společnost Škoda Auto a.s. Všechny cíle diplomové práce byly splněny.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČSN EN 13306. *Údržba - Terminologie údržby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 60 s. Třídící znak 01 0660.
2. KOLÁŘ, Miloslav. In: SKF.com: knowledge centre [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/knowledge-centre/media-library/index.html#tcm:54-161653>
3. BARTZ, Wilfried. Tribologie und Schmierungstechnik. In: Vdi-wissensforum.de [online]. c2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.vdi-wissensforum.de/weiterbildung-automobil/grundlagen-schmierstoffe/>
4. HELEBRANT, František. Technická diagnostika a spolehlivost I. Tribodiagnostika I. 1.vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 8070788836.
5. Značení viskozity průmyslových olejů. Oleje.cz [online]. c2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Znaceni-viskozity-prumyslovych-oleju>
6. Historie loga Škoda. Skoda-auto.cz [online]. c2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/o-nas/historie-loga>
7. Historie Škoda. Skoda-auto.cz [online]. c2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/o-nas/historie>
8. Den otevřených dveří. In: Auto-mania.cz [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/skoda-auto-v-sobotu-opet-otevre-sve-brany-verejnosti/>
9. Lab & Process. In: Labandprocess.com [online]. c2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.labandprocess.com/en/products/svm-4001>
10. General catalog: Anton Paar. 2016, 30 s.
11. In: Directindustry.de: Metroohm [online]. c2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.directindustry.de/prod/metrohm/product-15372-1012443.html>
12. MAREK, Vladislav, Ladislav HRABEC a Petr KOZÁK. Technik diagnostik - tribodiagnostik: Požadavky pro školení a certifikaci personálu ISO / CD 18436-4. 2014, s. 132.
13. In: Diram.cz: elektrochemie [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.diram.cz/cs/elektrochemie/stanoveni-cisla-kyselosti/>
14. NOVÁČEK, Vladimír. *Analýzy olejů, maziv a paliv: Technická publikace, alsglobal.cz*. Praha, 2019.

15. ČSN ISO 4406 (656206). *Hydraulické kapaliny - Kapaliny - Metoda kódování úrovně znečištění pevnými částicemi*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 12 s. Třídící znak 65 6206.
16. Fluitemc MPC. In: Omnitek.nl [online]. c2014 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.omnitek.nl/products/fluitemc-mpc>
17. Spolehlivost strojů vyjádřená normou ASTM D7843. MMprůmyslové spektrum [online]. Praha: Ing. Jan Novák, 2013 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/spolehlivost-stroju-vyjadrena-normou-astm-d7843.html>
18. GREŇČÍK, Juraj a kol. Manažérstvo údržby- Synergia a teorie a praxe. 1. vyd. Košice: Slovenská spoločnosť údržby vo vydavateľstve: BEKI design, s.r.o Košice, 2013. 630 s. ISBN 978-80-89522-03-3.
19. In: *Grobgroup.com: G520* [online]. c2019 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.grobgroup.com/en/products/product-range/system-solutions/g-modules/g520/>
20. LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 2. doplněné vyd. Příbram: Kamil Mařík PBtisk, 2016. 622 s. ISBN 978-80-7431-163 -2.
21. SEJKOROVÁ, Marie. Metody tribotechnické diagnostiky. 1. vyd. Ostrava, Pardubice: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. 111 s. ISBN: 978-80-248-3280-7.
22. TRIFOSERVIS. Hydraulické kapaliny: Sborník semináře. 2019.
23. Využití technické tribodiagnostiky v praxi: Tribodiagnostika. MMprůmyslové spektrum [online]. 2004 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyuziti-technicke-tribodiagnostiky-v-praxi.html>
24. Statistické tabulky [online]. In: . c2005 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://mathonline.fme.vutbr.cz/Prilohy/sc-1207-sr-1-a-201/default.aspx>

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH

### 10.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Rozdělení údržby dle ČSN EN 13306:2017 [1].....	10
Obr. 2 Jednobodová automatická maznice SKF, System 24 [2] .....	10
Obr. 3 Tribologie [3] .....	11
Obr. 4 Obecný průběh poškození vlivem opotřebení [4] .....	13
Obr. 5 Adhezivní opotřebení [4] .....	12
Obr. 6 Abrazivní opotřebení [4] .....	12
Obr. 7 Erozivní opotřebení [4] .....	12
Obr. 8 Únavové opotřebení [4].....	14
Obr. 9 Kavitační opotřebení [4].....	14
Obr. 10 Vibrační opotřebení [4] .....	14
Obr. 11 Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram) .....	21
Obr. 12 Logo společnosti Škoda Auto a.s. [6] .....	14
Obr. 13 Výrobní závod Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi [8].....	14
Obr. 14 Tribodiagnostická laboratoř Škoda Auto a.s. ....	25
Obr. 15 Viskozimetr SVM <sup>TM</sup> (Stabinger Viskozimetr) s autosamplerem, Anton Paar [9] .....	26
Obr. 16 Schéma principu funkce rotačního viskozimetru [10] .....	26
Obr. 17 Karl Fischer Coulometr 874, Metrohm [11] .....	27
Obr. 18 Coulometr KOH, Dira [13] .....	29
Obr. 19 Automatický počítač částic, LaserNet 230 [14].....	30
Obr. 20 Princip zobrazování automatického čítače částic [14].....	31
Obr. 21 Kolorimetr MPC Color [16] .....	33
Obr. 22 Vzorky filtrů a rozdělení skupin dle normy [17].....	33
Obr. 23 Infračervený spektrometr Nicolet iS10, Thermo Fisher [18].....	34
Obr. 24 IČ spektrum oleje HM 46 [12] .....	36
Obr. 25 Komponenty on-line filtrační jednotky .....	36
Obr. 26 Hydraulický lis, Dieffenbacher .....	39
Obr. 27 Univerzální obráběcí centrum, Grob G520 [19] .....	39
Obr. 28 Kódové číslo čistoty, hodnota X, hydraulický lis .....	41
Obr. 29 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, hydraulický lis .....	42
Obr. 30 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, hydraulický lis.....	42

Obr. 31 Množství vody, hydraulický lis .....	43
Obr. 32 Kódové číslo čistoty, hodnota X, obráběcí centrum .....	43
Obr. 33 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, obráběcí centrum .....	43
Obr. 34 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, obráběcí centrum.....	44
Obr. 35 Množství vody, hydraulický lis .....	44
Obr. 36 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, obráběcí centrum.....	48
Obr. 37 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, obráběcí centrum.....	48
Obr. 38 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, obráběcí centrum .....	49
Obr. 39 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, hydraulický lis.....	49
Obr. 40 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, hydraulický lis.....	50
Obr. 41 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, hydraulický lis .....	51
Obr. 42 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, hydraulický lis .....	54
Obr. 43 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, obráběcí centrum.....	55
Obr. 44 Kódové číslo čistoty, hodnota X, hydraulický lis, on-line .....	58
Obr. 45 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, hydraulický lis, on-line .....	59
Obr. 46 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, hydraulický lis, on-line .....	59
Obr. 47 Množství vody, hydraulický lis, on-line.....	60
Obr. 48 Kódové číslo čistoty, hodnota X, obráběcí centrum, on-line .....	60
Obr. 49 Kódové číslo čistoty, hodnota Y, obráběcí centrum, on-line .....	60
Obr. 50 Kódové číslo čistoty, hodnota Z, obráběcí centrum, on-line .....	61
Obr. 51 Množství vody, obráběcí centrum, on-line.....	61
Obr. 52 Porovnání množství nečistot X, hydraulický lis.....	62
Obr. 53 Porovnání množství nečistot Y, hydraulický lis.....	62
Obr. 54 Porovnání množství nečistot Z, hydraulický lis .....	63
Obr. 55 Porovnání množství nečistot X, obráběcí centrum.....	64
Obr. 56 Porovnání množství nečistot Y, obráběcí centrum.....	64
Obr. 57 Porovnání množství nečistot Z, obráběcí centrum .....	67
Obr. 58 Porovnání množství vody, hydraulický lis.....	68
Obr. 59 Porovnání množství vody, obráběcí centrum.....	68

## 10.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Příklady viskozitních tříd s hodnotami [5] .....	18
Tabulka 2 Maximální množství vody dle místa použití oleje [12].....	29
Tabulka 3 Přiřazení kódu čistoty [15] .....	33
Tabulka 4 Hodnoty vlnočtů detekující přítomnost složek obsažených v oleji [12] .....	36
Tabulka 5 Hodnoty parametrů oleje z hydraulického lisu.....	41
Tabulka 6 Hodnoty parametrů oleje z obráběcího centra.....	43
Tabulka 7 Pomocné vzorky olejů, kódové číslo čistoty X, Y, Z dle [ISO 4406] (6 vzorků) .....	46
Tabulka 8 statistická tabulka T2, kvantily tP Studentova rozdělení S(k).....	47
Tabulka 9 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, obráběcí centrum.....	47
Tabulka 10 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, obráběcí centrum.....	48
Tabulka 11 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, obráběcí centrum .....	49
Tabulka 12 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty X, hydraulický lis.....	50
Tabulka 13 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Y, hydraulický lis.....	51
Tabulka 14 Intervalový odhad pro kódové číslo čistoty Z, hydraulický lis .....	52
Tabulka 15 Pomocné vzorky olejů, množství volné a vázané vody (6 vzorků).....	54
Tabulka 17 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, hydraulický lis .....	55
Tabulka 16 Intervalový odhad množství volné a vázané vody, obráběcí centrum .....	56
Tabulka 18 Hodnoty parametrů oleje z hydraulického lisu, on-line .....	58
Tabulka 19 Hodnoty parametrů oleje z obráběcího centra, on-line .....	60
Tabulka 20 Pořizovací cena diagnostických zařízení.....	68
Tabulka 21 Cena diagnostiky vzorků oleje hydraulického lisu off-line a on-line .....	69
Tabulka 22 Cena diagnostiky vzorků oleje obráběcího centra off-line a on-line.....	69
Tabulka 23 Finanční úspora provozem on-line filtrační jednotky za 1 rok .....	70
Tabulka 24 Celková finanční úspora během 1 roku provozu on-line filtrační jednotky .....	70

## 10.3 Seznam příloh

- Příloha 1 Statistické vyhodnocení měření nečistot
- Příloha 2 Statistické vyhodnocení měření vody

# PŘÍLOHY

## Příloha 1 Statistické vyhodnocení měření nečistot

### Results for: Worksheet 2

#### One-way ANOVA: X versus vzorek

Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
vzorek	6	A; B; C; D; E; F

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
vzorek	5	67,067	13,4133	47,34	0,000
Error	24	6,800	0,2833		
Total	29	73,867			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,532291	90,79%	88,88%	85,62%

Means

vzorek	N	Mean	StDev	95% CI
A	5	17,200	0,447	(16,709; 17,691)
B	5	15,600	0,548	(15,109; 16,091)
C	5	19,200	0,447	(18,709; 19,691)
D	5	15,00	0,00	( 14,51; 15,49)
E	5	15,400	0,894	(14,909; 15,891)
F	5	15,200	0,447	(14,709; 15,691)

Pooled StDev = 0,532291

#### Interval Plot of X vs vzorek

#### One-way ANOVA: Y versus vzorek

Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

#### Factor Information

Factor	Levels	Values
vzorek	6	A; B; C; D; E; F

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
vzorek	5	45,37	9,0733	10,08	0,000
Error	24	21,60	0,9000		
Total	29	66,97			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,948683	67,75%	61,03%	49,60%

#### Means

vzorek	N	Mean	StDev	95% CI
A	5	15,400	0,548	(14,524; 16,276)
B	5	13,200	1,095	(12,324; 14,076)
C	5	16,000	1,000	(15,124; 16,876)
D	5	13,400	0,548	(12,524; 14,276)
E	5	13,600	1,140	(12,724; 14,476)
F	5	12,600	1,140	(11,724; 13,476)

Pooled StDev = 0,948683

### Interval Plot of Y vs vzorek

### One-way ANOVA: Z versus vzorek

#### Method

Null hypothesis	All means are equal
Alternative hypothesis	At least one mean is different
Significance level	$\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

#### Factor Information

Factor	Levels	Values
vzorek	6	A; B; C; D; E; F

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
vzorek	5	11,47	2,293	1,60	0,198
Error	24	34,40	1,433		
Total	29	45,87			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
---	------	-----------	------------



1,19722 25,00% 9,38% 0,00%

#### Means

vzorek	N	Mean	StDev	95% CI
A	5	8,200	1,304	(7,095; 9,305)
B	5	7,600	0,894	(6,495; 8,705)
C	5	9,000	0,707	(7,895; 10,105)
D	5	8,400	1,140	(7,295; 9,505)
E	5	9,000	1,871	(7,895; 10,105)
F	5	7,400	0,894	(6,295; 8,505)

Pooled StDev = 1,19722

### Interval Plot of Z vs vzorek

### One-Sample T

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
5	23,000	0,532	0,238	(22,339; 23,661)

### Descriptive Statistics: H2O

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Maximum
H2O	5	43,20	5,76	35,00	51,00

## Příloha 2 Statistické vyhodnocení měření vody

### One-way ANOVA: voda versus vzorek

#### Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

#### Factor Information

Factor	Levels	Values
vzorek	6	1; 2; 3; 4; 5; 6

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
vzorek	5	2099,5	419,90	15,39	0,000
Error	24	654,8	27,28		
Total	29	2754,3			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,22335	76,23%	71,27%	62,85%

## Means

vzorek	N	Mean	StDev	95% CI
1	5	43,20	5,76	(38,38; 48,02)
2	5	51,00	3,54	(46,18; 55,82)
3	5	59,40	6,35	(54,58; 64,22)
4	5	43,60	5,32	(38,78; 48,42)
5	5	52,20	5,54	(47,38; 57,02)
6	5	66,80	4,32	(61,98; 71,62)

Pooled StDev = 5,22335

## Test for Equal Variances: voda versus vzorek

### Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	$\alpha = 0,05$

### 95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

vzorek	N	StDev	CI
1	5	5,76194	(1,20202; 58,4743)
2	5	3,53553	(0,96973; 27,2897)
3	5	6,34823	(1,54601; 55,1861)
4	5	5,31977	(1,31528; 45,5518)
5	5	5,54076	(1,90793; 34,0654)
6	5	4,32435	(1,22875; 32,2193)

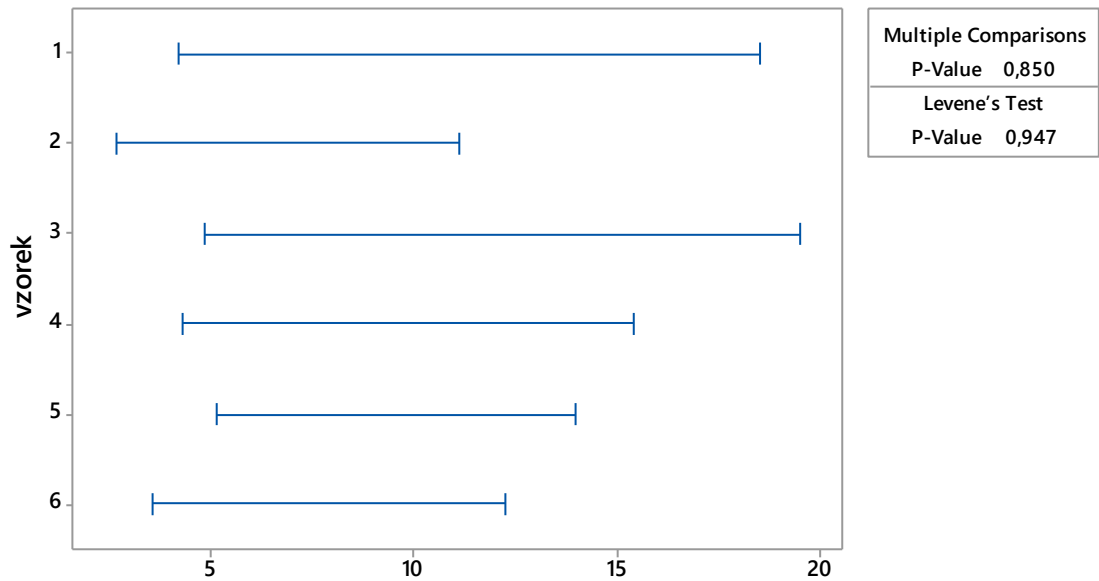
Individual confidence level = 99,1667%

### Tests

Method	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0,850
Levene	0,23	0,947

### Test for Equal Variances: voda vs vzorek

Multiple comparison intervals for the standard deviation,  $\alpha = 0,05$



*If intervals do not overlap, the corresponding stdevs are significantly different.*